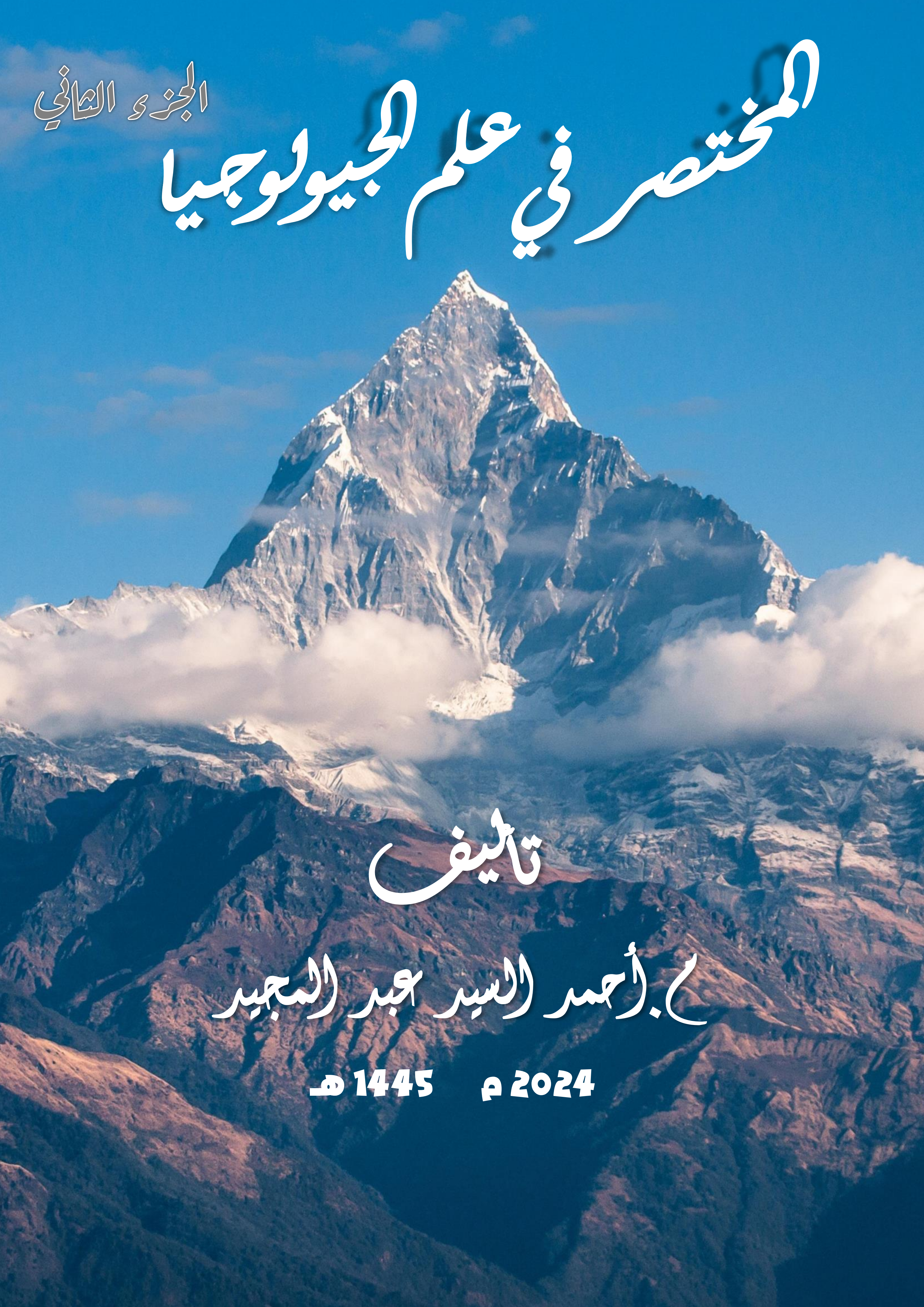

الجزء الثاني
المختصر في علم الجيولوجيا
تأليف
م. أحمد السيد عبد المجيد
2024 م 1445 هـ

المختصر في علم الجيولوجيا

الجزء الثاني

(حكاية الآرض - علم الطبقات - علم التربة - جسات التربة)

أعداد وتاليف

م. أحمد السيد عبد المجيد

2024 م   1445 هـ

بسم الله الرحمن الرحيم

﴿ أَلَا بِذِكْرِ اللَّهِ تَطْمَئِنُّ الْقُلُوبُ ﴾

إهداء

إلى كل مهندس جيولوجى تخرج وإلى كل طالب علم ، أهدى إليه هذا الكتاب وأرجو من الله عزّ وجل أن أكون قد وُفقت فى إعداده على النحو الأمثل الذى يليق بكم.

وأسأل الله عزّ وجل أن يتقبل هذا العمل خالصاً لوجهه الكريم وأن يعم بفائدته الجميع.

أعداد وتاليف

م. أحمد السيد عبد المجيد

حكاية الآرض

فكرة عامة عن الكرة الآرضية

تعتبر الكرة الآرضية خامس أكبر الكواكب في المجموعة الشمسية وثالث أبعد الكواكب عن الشمس ، حيث أن كواكب المجموعة الشمسية تسعة وهي عطارد والزهرة والآرض والمريخ والمشتري وزحل ويورانوس ونبتون وبلوتو ، وتم تقسيم هذه الكواكب إعتماداً علي تكوينهما ؛ حيث أن الأربعة كواكب القريبة من الشمس (عطارد ، الزهرة ، الآرض ، المريخ) تتكون أساساً من الصخور ويطلق عليها الكواكب الآرضية ، بينما الأربعة كواكب الكبيرة الأخري (المشتري ، زحل ، يورانوس ، نبتون) تتكون أساساً من الهيدروجين والهيليوم ويطلق عليها العمالقة الغازية ، ويختلف كوكب بلوتو في إنه يتكون من صخر مثلج وجليد.

تَبْعد الآرض عن الشمس مسافة 150 مليون كم وهذا يجعلها علي مسافة مناسبة تحفظ حرارتها ضمن نطاق معتدل مما يسمح للماء بالتواجد في حالته السائلة علي سطحها وللحياة بالإزدهار ، ويقول العلماء المُختصون أن الكرة الآرضية تدور حول محور وهمي دورة كاملة كل 23.934 ساعة ، كما تدور الآرض حول الشمس بسرعة (19 ميل / ثانية) فتتم دورة كاملة في 365 يوماً وربع يوم تقريباً ، وهذا الربع الإضافي يفسر وجود السنة الكبيسة إذ يضاف يوم إلي السنة كل أربعة سنوات حتي يتوافق التقويم السنوي مع دورة الآرض حول الشمس.

وتعتبر الكرة الآرضية الكوكب الوحيد الذي له قمر واحد وهو جسم طبيعي كبير يدور حول الآرض ، ويبلغ متوسط المسافة بين القمر والآرض حوالي 384.400 كم ، وهي مسافة قريبة بما يكفي للتأثير علي مستوي البحار الموجودة علي كوكب الآرض حيث تَسحب جاذبية القمر كوكب الآرض ولكن هذه الجاذبية أضعف من أن تؤثر علي الكوكب كله فتؤثر علي الماء وتجعله يتحرك وهو ما يُسمى بحركة المد والجزر.

ويأخذ كوكب الآرض شكل جسم شبيه بالكرة منضغط قليلاً عند القطبين ، وقد سُمي الجغرافيين الخط الوهمي الذي يصل بين قطبي الآرض بالمحور ، كما أطلقوا علي الدائرة الوهمية التي تفصل نصفها الشمالي عن نصفها الجنوبي بخط الإستواء ، وعلي هذا يمر عبر الكرة الآرضية خطوط الطول والعرض وهي خطوط وهمية تستخدم لتحديد موقع أي نقطة علي سطح الآرض ، حيث تمتد خطوط الطول من القطب الشمالي إلي القطب الجنوبي ويبلغ عددها 360 خطاً بدءاً من خط الطول الرئيسي والذي يمر عبر مدينة جرينتش في إنجلترا ، وتمتد خطوط العرض من الشرق إلي الغرب ويبلغ عددها 180 خطاً بدءاً من خط الإستواء.

يميل محور دوران الآرض بمقدار 23.4 درجة بالنسبة لمستوي مدار الآرض حول الشمس ، ويتسبب هذا الميل في تناوب الفصول الأربعة ، فخلال جزء من السنة يميل نصف الكرة الآرضية الشمالي نحو الشمس ويميل نصف الكرة الجنوبي بعيداً عن الشمس ومع إرتفاع الشمس في السماء يكون التسخين الشمسي أكبر في شمال الكرة الآرضية وذلك فصل الصيف بينما يكون مستوي الحرارة أقل في جنوب الكرة الآرضية حيث يكون الشتاء هناك ، وعندما يبدأ الربيع والخريف يتلقي كلا من نصفي الكرة الآرضية كميات متساوية تقريباً من حرارة الشمس .... وهكذا.

تتكون الكرة الآرضية من أربعة طبقات رئيسية تبدأ باللب الداخلي ثم اللب الخارجي ثم الوشاح ثم القشرة الآرضية ، حيث أن طبقة اللب الداخلي عبارة عن جزء صلب غني بالحديد ، وتصل درجة حرارة اللب الداخلي للآرض 5400 درجة مئوية ، وطبقة اللب الخارجي التي تغلف طبقة اللب الداخلي عبارة عن جزء منصهر من الحديد والنيكل ، ويوجد فوق اللب الخارجي الوشاح الذي يتكون من خليط من الصخور المنصهرة اللزجة الساخنة ، وتتسبب حركة الصخور البطيئة في الوشاح في حدوث الزلازل والبراكين وظهور السلاسل الجبلية ، ويعلو طبقة الوشاح القشرة الآرضية وهي الطبقة الوحيدة التي لها أتصال مباشر مع الناس ، وتتكون القشرة نفسها من قشرة قارية و قشرة محيطة ، حيث أن القشرة القارية التي تمتد تحت القارات تتكون من صخر الجرانيت ، والقشرة المحيطية التي تمتد تحت المحيطات تتكون من صخر البازلت.

يُحيط بالكرة الآرضية الغلاف الجوي الذي قسمه العلماء إلي خمس طبقات أساسية ، حيث تَعد طبقة **التروبوسفير** الطبقة الأولي من طبقات الغلاف الجوي تبعاً لقربها من سطح الآرض ، وتحتوي هذه الطبقة علي ما نسبته (75 - 80 %) من إجمالي كتلة الغلاف الجوي ، وتحتوي هذه الطبقة علي معظم السحب ويحدث فيها معظم عوامل الطقس التي تؤثر علي سطح الآرض مثل الآمطار والعواصف الرعدية ، وتتركز في طبقة التروبوسفير العديد من الغازات المختلفة حيث يُشكل النيتروجين 78 % من إجمالي الغازات الموجودة في هذه الطبقة ، بينما يُشكل الأكسجين نسبة مقدارها 21 % ، بينما تتوزع الـ 1 % الباقية علي غازات أخري منها الآرجون وثاني أكسيد الكربون الذي له أهمية شديدة في الحفاظ علي دفء الآرض وحمايتها من التقلبات الحرارية ، وتحتوي هذه الطبقة علي معظم بخار الماء الموجود في الغلاف الجوي وبنسبة تصل إلي 99 % ، فبخار الماء الموجود في الغلاف الجوي يعمل علي المحافظة علي درجة حرارة الآرض وتنظيمها حيث يقوم بإمتصاص الطاقة الشمسية والإشعاع الحراري من سطح الآرض.

ثم تاتي الطبقة الثانية وهي **الستراتوسفير** التي تحتوي علي غاز الآوزون (O_3) حيث يوجد فيها بنسبة تصل إلي 90 % من إجمالي الآوزون الموجود في الغلاف الجوي ، ويلعب الآوزون مع المجال المغناطيسي للأرض دوراً مهم في حجب الإشعاعات الضارة مثل الآشعة الفوق البنفسجية مما يسمح بوجود الحياة علي سطح الآرض ، ثم تاتي الطبقة الثالثة وهي **الميزوسفير** الغنية بتواجد العديد من ذرات الحديد وبعض المعادن الأخري ، ويعود ذلك إلي النيازك الساقطة التي تتبخر في هذه الطبقة ويتبقي البعض من موادها موجودة في طبقة الميزوسفير ، ثم تاتي طبقة **الثيرموسفير** التي يتواجد فيها مدارات الأقمار الصناعية ، وأخيراً تأتي طبقة **الإكزوسفير** التي تمثل الحدود الخارجية للغلاف الجوي التي تبدأ بالتداخل مع الفضاء وتمتد لحوالي 10.000 كم بعيداً عن سطح الآرض.



أصل الكون والمجموعة الشمسية والآرض

أول نظرية جادة حاولت تفسر أصل المجموعة الشمسية هي نظرية كانت-لابلاس التي ظهرت قرب نهاية القرن الثامن عشر ، وهذه النظرية بإسم الفيلسوف الألماني (كانت) وعالم الرياضيات الفرنسي (لابلاس) ، وقد وضع كل واحد من هذين العالمين النظرية نفسها علي إنفراد ، تم وضع هذه النظرية بناءً علي بعض المشاهدات الفلكية ، وتفترض نظرية كانت-لابلاس أن المجموعة الشمسية تكونت نتيجة لتكثف كتلة غازية هائلة كروية الشكل ، وكانت هذه الكتلة في بداية الأمر تدور حول نفسها ، وفي نفس الوقت عملت قوي الجاذبية علي إنكماش المادة الغازية نحو مركزها ، والقوي الطاردة المركزية الناتجة من دوران الكتلة الغازية علي تحويلها من كرة إلي قرص وبعد ذلك تحولت بعض الأجزاء الخارجية لهذا القرص إلي حلقات إنفصلت عن المادة المتركزة في المركز والمكونة للشمس بينما المادة المكونة للحلقات فأخذت تنكمش حتي أصبحت كواكب ، وذلك أدي إلي تكون الأقمار التي تدور حول بعض الكواكب.

بعد ذلك وفي أواخر القرن التاسع عشر وأوائل القرن العشرين وضع بعض العلماء نظريات لأصل المجموعة الشمسية تعتمد علي إفتراض أن الشمس تكونت أولاً ، وأن الكواكب ظهرت نتيجة لتاثير جاذبية نجم آخر مر بقرب الشمس ، وأدي مرور هذا النجم إلي إنفصال جزء من مادة الشمس الملتهبة لتكوين الكواكب ، ومن أبرز العلماء الذين قدموا مثل هذه النظريات العالم الجيولوجي الأمريكي تشمبرلين وعالم الفلك مولتون وتعرف نظريتهما بإسم تشمبرلين-مولتون.

وهناك أيضاً عالمان بريطانيان وهما جيمس جينز (عالم الفيزياء المعروف) وهارولد جيفري (عالم الفلك) وضعا نظرية شبيهه بنظرية تشمبرلين-مولتون ولكنهما يفترضان أن النجم الذي مر بجوار الشمس قد أدي إلي فصل شريط طويل من المادة الشمسية تكثف فيما بعد إلي عدة كواكب ، أما تشمبرلين ومولتون كانا يعتقدان أن مادة الشمس إنفصلت بسبب مرور النجم إلي عدة كتل منفصلة منذ البداية وأن تكثف هذه الكتل أدي إلي تكوين الكواكب ، والنظريات التي تعتمد علي مرور نجم بمقربه من الشمس لشرح أصل كواكب المجموعة الشمسية مبنية علي دعوي وقوع حدث فريد أو نادر جداً في تاريخ الكون ، وهو مرور نجم بجوار نجم آخر بحيث أن جاذبيتهما تؤدي إلي فصل جزء من المادة المكونة لهما في الفراغ وهذا الحدث لا يمكن مشاهدة آي دليل عليه الآن.

أما النظريات الحديثة لأصل المجموعة الشمسية مبنية علي تطبيق نظرية الوتيرة الواحدة ، وكلها تشبه كثيراً نظرية كانت-لابلاس ولكن تمتاز النظريات الحديثة عن نظرية كانت-لابلاس بأنها مبنية علي معلومات ومشاهدات أكثر دقة ، وتختلف أيضاً عن نظرية كانت-لابلاس في أنها تتصور أن المجموعة الشمسية تكونت من سديم غازي وغباري وليس من سديم غازي فقط ، وبالإضافة إلي ذلك تعطي النظريات الحديثة تفاصيل أكثر عن طبيعة مادة هذا السديم الغازي والغباري ، فهي تفترض أن الأجزاء الصلبة (أي الجسيمات الغبارية) لهذا السديم كانت شبيهه في تركيبها الكيميائي والمعدني بتركيب النيازك التي تعد البقية التي بقيت من السديم بعد تكون الكواكب.

ويظن بعض العلماء أيضاً أن الغبار السديمي الذي أدي إلي تكوين الكواكب كان حاراً علي مقربة من مركز السديم نتيجة لفعل الطاقة الشمسية التي بدأت في التدفق قبل تكون الكواكب ، وكانت المادة السديمية الحارة تتجمع لتكون كواكب ، ففي بداية الأمر تجمعت العناصر الثقيلة مثل النيكل والحديد ، وهما يكونان مادة اللب في جميع الكواكب ، وبعد ذلك تجمعت المواد البريدوتيتية لوشاح الكواكب ، أما أخر المواد الصلبة التي تجمعت فهي السيليكات المكونة للقشرة الآرضية ، وعندما برد السديم (نتيجة لإنخفاض ضغط الغازات المكونة له والتي أصبحت غير قادرة علي حبس كمية كافية من الطاقة الشمسية الحرارية) تَكون الغلاف المائي أو الهوائي للكواكب الثقيلة ، أما الكواكب الخفيفة فلم تسمح جاذبيتها بتكون غلاف هوائي يُذكر ، وقد قدم العلماء هذه النظرية لتكوين الكواكب لكي تلائم ما نعرفه من تركيبها الغلافي وعلي وجه الخصوص في حالة الآرض.

يُقدر العلماء أن الشمس والكواكب تجمعت من السديم الآولي منذ حوالي 5000 مليون عام ، أما الكون (أي النجوم والمجرات) فيظن العلماء أنه تكون منذ حوالي 10.000 أو 15.000 مليون عام ، وتجزم المشاهدات الفلكية بأن المجرات تتباعد عن بعضها البعض بسرعات فائقة ، وبأنها كلما تباعدت زادت سرعتها ، وقد إنكشفت هذه الحقيقة من دراسة أطياف الضوء الواصل إلينا من هذه المجرات ، فالمعروف في الفيزياء أن الوان الطيف لضوء ما تنزاح نحو اللون ذي الموجة القصيرة إذا كان هذا الضوء ينبعث من مصدر يقترب من المُشاهد ، وكلما زادت سرعة المصدر الضوئي مقترباً أو مبتعداً زاد هذا الإنزياح ، وقد ظهر من المشاهدات الفلكية أن أطياف المجرات جميعاً تنزاح نحو اللون الأحمر ذي الموجة الطويلة ، أي أنها جميعاً تبتعد عنا ، كما ظهر أيضاً أن هذا الإنزياح الآحمر يشتد كلما كانت المجرة المرصودة أكثر بعداً عنا ، أي أن المجرات تزداد سرعتها كلما زادت الأبعاد الفاصلة بينها ، وبقياس شدة الإنزياح الآحمري نستطيع معرفة سرعة كل مجرة.

ويقدر العلماء أن كل مادة الكون كانت مركزة في حيز صغير منذ حوالي 10.000 أو 15.000 مليون عام عندما بدأت الحركة المؤدية إلي إبتعاد المجرات بعضها عن بعض ، وبدأت هذه الحركة بإنفجار عظيم ولذلك تسمي نظرية تكون الكون بهذا الإنفجار بنظرية (الإنفجار العظيم *Big Bang Theory*) ، ويقدر العلماء أن مادة الكون كانت قبل الإنفجار مركزة في بروتون (أي مادة موجبة) ضخم تدور حوله سحابة من المادة الإلكترونية (أي المادة سالبة) ، وكان في هذه المادة كمية هائلة من الطاقة الكامنة التي أدت إلي الإنفجار العظيم وتحولت إلي سرعة وضوء وحرارة وأشعة كونية.

وقد تنبأ العلماء بأن الإنفجار العظيم يجب أن يعقبه إنبعاث نوع خاص من موجات الراديو ومن الأشعة الكونية ، وتعرف الأشعة الكونية التي تنبأ العلماء بتكونها أثناء الإنفجار العظيم بإسم أشعة درجات كلفين الثلاثة ، وقد تمكن العلماء بالفعل من العثور علي هذه الأشعة في الكون ، وأستطاعوا أيضاً أن يلتقطوا موجات راديو يعتقدون أنها نشأت نتيجة للإنفجار العظيم.

نشأة الأرض

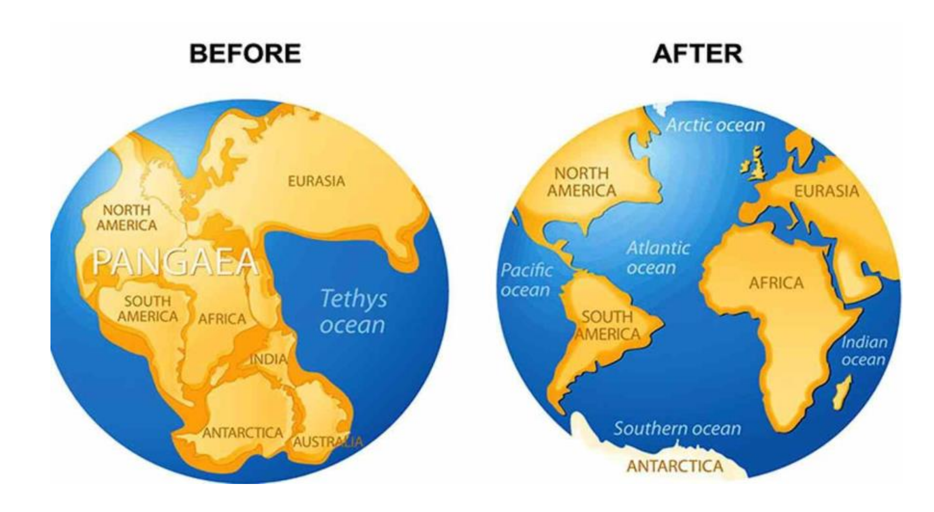
يؤيد كثير من العلماء نظريات التكاثف التي تبدأ بإنفجار نجم منفرد ، حيث تطورت هذه النظريات خلال الأربعينيات والخمسينيات من القرن العشرين ، وتفترض تلك النظريات أن النجم إنفجر وتسربت معظم المواد المتفجرة في الفضاء وبقي جزء يسير من المواد ليشكل السديم الذي بدأ يدور وينكمش ، وتشكلت الشمس من الجزء المركزي لهذا السديم ، وتكثفت كتل صغيرة من الغبار في مدارات وعلي مسافات مختلفة من الشمس مشكلة الكواكب.

أفترض العلماء أن الآرض بدأت كتلة صخرية عديمة الماء محاطة بسحابة من الغاز ، وتدريجياً أنتجت المواد المشعة في الصخر والضغط المتزايد في باطن الآرض حرارة كافية لصهر باطن الآرض ، وغاصت المواد الثقيلة كالحديد أما المواد الخفيفة كالسليكا (صخور مركبة من السليكون والأكسجين) قد إرتفعت إلي سطح الآرض مكونة القشرة المبكرة للأرض.

وقد نتج عن تسخين باطن الآرض أيضاً إرتفاع بعض المواد الكيميائية من داخل الآرض إلي السطح ، وبعض هذه المواد الكيميائية كونت الماء وبعضها الآخر كون غازات الغلاف الجوي ، ثم تجمع الماء ببطء علي مدي ملايين السنين في الأماكن المنخفضة من القشرة الآرضية مكوناً المحيطات ، وفي أثناء تطور اليابسة علي الآرض أذابت مياه الآمطار والآنهار والآملاح والمواد الأخري من الصخور ونقلها إلي المحيطات مسببة ملوحة المحيطات.

من المحتمل أن الغلاف الجوي المبكر للآرض أحتوي علي هيدروجين وهيليوم وميثان وأمونيا مشابه للغلاف الجوي الحالي لكوكب المشتري ، أو أنه ربما أحتوي علي كميات كبيرة من ثاني أكسيد الكربون كما في الغلاف الجوي لكوكب الزهرة ، ومن المحتمل أيضاً أن الغلاف الجوي المبكر للآرض لم يحتوي علي كمية كبيرة من الأكسجين الطليق ، وبشكل أساسي نتج الأكسجين في الغلاف الجوي من النباتات التي تستخدم ثاني أكسيد الكربون وترسل الأكسجين من خلال عملية التركيب الضوئي ، وأزدادت كمية الأكسجين في الغلاف الجوي في المراحل المبكرة للآرض حيث تطورت النباتات وأصبحت أكثر وفرة.

تشكيل القارات يفترض علماء الآرض أن القارات عندما تكونت شكلت جزءاً من كتلة أرض واحدة سُميت القارة العظيمة بانجيا وهي أم القارات الحالية وتحاط هذه القارة بمحيط عظيم واحد سمي بأنثالاسا وهو أبو المحيطات الحالية ، وقبل 200 مليون عام منذ بداية حقبة الحياة المتوسطة بدأت قارة بانجيا التي تكونت في العصر البرمي بالإنقسام حيث إنقسمت في بداية الآمر إلي كتلتين وهما لوراسيا (القارة الشمالية) وجوندوانا (القارة الجنوبية) وكان يفصل بين هذين القارتين بحر التيثيز ، ومع مرور الزمن إنقسمت جوندوانا إلي أجزاء مشكلة قارات أمريكا الجنوبية وأفريقيا وأستراليا والقارة القطبية الجنوبية وشبه القارة الهندية ، وأنقسمت لوراسيا إلي أجزاء ضمت أوراسيا وأمريكا الشمالية ، ثم بعد ذلك تفككت قارة أوراسيا إلي قارتين وهما أوروبا وآسيا.



تقدير عمر الآرض

قرون مضت من التاريخ البشري قبل أن يجد الإنسان إجابة لسؤال مهم وهو منذ متي كانت الآرض ؟ وفي القرن الثامن والتاسع عشر بدأت أول خطوات البحث العلمي في مجالات عديدة منها الدراسات الجيولوجية ، وسارت محاولات الجيولوجيين لتقدير عمر الآرض في إتجاهين :-

- ✓ تقدير عمر الآرض المطلق ***Absolute Dating*** : أي تحديد زمن تكون الآرض ككل أو أي جزء من أجزائها أو مكوناتها.
- ✓ تقدير عمر الآرض النسبي ***Relative Dating*** : أي وضع المكونات أو الأحداث في تسلسل زمني من الأقدم إلي الأحدث.

التاريخ النسبي عبارة عن تحديد العمر النسبي للصخور أو الأحافير أو المعادن ، ويتم إجراء التاريخ النسبي عن طريق مقارنة ما إذا كانت المادة أحدث عمراً أو أقدم من المواد الأخري المحيطة بها ، ويتم تحديد الآعمار النسبية وتعاقب الطبقات الجيولوجية من قبل علماء الجيولوجيا ، وهذا سندرسه بالتفصيل في الباب الثاني عند الحديث عن مبادئ علم الطبقات.

والتاريخ المطلق أكثر دقة من التاريخ النسبي للصخور ؛ لآن التاريخ النسبي كما ذكرنا يحدد عمر الصخر بالنسبة للصخور الأخري والفترات الجيولوجية التي أستخدمت لتقسيم عمر الآرض ، أما التاريخ المطلق فهو يحدد عمر الصخر أو الأحفورة بإستخدام التاريخ المحدد ، علي سبيل المثال إنقرضت الديناصورات منذ 65 مليون عام ، وتم معرفة ذلك بعد دراسة تحلل أحافير الديناصورات بقياس المعدل الذي تحلل عنده هذا الآحفور في المقام الآول ، وتحليل الصخور وطبقات الصخور التي كانت مدفونة فيها من خلال قياس النشاط الإشعاع للصخر.

تقدير عمر الآرض المطلق

يعتمد تقدير العمر المطلق علي رصد ظاهرة طبيعية لها صفة الإستمرار والثبات وأن تكون مزامنة لبدء تكون الآرض ، ولقد أستخدمت بعض الظواهر الطبيعية التي لها كل الصفات السابقة وأجريت العديد من المحاولآت لتقدير عمر الآرض المطلق :-

1. حساب معدل ملوحة البحار والمحيطات.

في عام 1715 م تقدم الفلكي البريطاني أدمن هالي بإقتراح لحساب عمر الآرض يتلخص في حساب المجموع الكلي للأملاح في البحار والمحيطات الحالية وقسمته علي معدل الزيادة السنوية في ملوحة مياه تلك البحار والمحيطات ، وَبني أدمن هذا الإقتراح علي أساس أن مياه البحار والمحيطات كانت في الأصل مياها عذبة وأن ملوحتها الحالية مجتمعة أصلاً من صخور القشرة الآرضية بواسطة المجاري المائية التي تقطعها فتذيب كل ما يمكن إذابته من الأملاح المكونة للصخور ثم تحمله إلي البحار والمحيطات حيث تتبخر المياه بفعل الشمس تاركة خلفها ما حملته من أملاح تتركز نسبتها في مياه البحار والمحيطات عاماً بعد عام.

2. حساب سمك الصخور الرسوبية ومتوسط معدل تجمعها السنوي.

في عام 1878 م أعلن العالم البريطاني هوغتون أنه يمكن قياس العمر المطلق لفترة جيولوجية معينة بقياس أقصي سمك للطبقات التي تكونت في تلك الفترة ثم حساب متوسط معدل تجمع هذه الطبقات الرسوبية وبقسمة الأول علي الثاني يمكن أن نحصل علي الزمن اللازم لتجمع طبقات كل فترة من فترات تاريخ الآرض الطويل ، وإعتماداً علي تلك النظرية فقد قدر علماء الجيولوجيا الوقت اللازم لترسيب وتكوين الصخور الرسوبية منذ بداية العصر الكمبري حتي العصر الحديث بحوالي 75 مليون عام ، وعلي كل حال لم تلق هذه النظرية قبولاً لدي كثيراً من المشتغلين في هذا المجال.

3. حساب معدل تبريد الآرض

في عام 1846 م قام العالم كلفن بحساب عمر الآرض مستخدماً أسساً فيزيائية ، فمن المعروف أن الآرض قد أنفصلت من الشمس كجسم حار وأنها أخذه في التبريد ويستدل علي ذلك من إزدياد درجة الحرارة بالعمق بمعدل 0.56 درجة مئوية لكل 50 قدماً ، وقد وجد العالم كلفن أن التدرج الحراري الباطني (أزدياد درجة الحرارة بالعمق) للأرض يتناسب عكسياً مع الجذر التربيعي للزمن وذلك منذ أن كانت الآرض في حالة إنصهار ، وقدر كلفن عمر الآرض بهذه الطريقة بأنه يترواح بين 20 و 30 مليون عام وذلك منذ أن كانت الآرض في حالة إنصهار ، وجدير بالذكر أنه بإستخدام نظرية كلفن نفسها وبتطبيق المعادلات الحديثة للتغير في درجة حرارة الآرض بالعمق يمكن الحصول علي عمر لها في حدود 700 مليون عام.

وفي عام 1899 م أعلن العالم البريطاني جايكي أن طبيعة صخور القشرة الآرضية تنكر إستنتاج كلفن الحراري الحركي لأن النشاطات الجيولوجية كانت في الماضي أكثر عنفاً مما هي عليه الآن.

4. ظاهرة الإشعاع *Radioactivity*

في عام 1896 م أكتشف العالم الفرنسي هنري بيكيريل بمحض الصدفة أن عنصر اليورانيوم ومركباته المختلفة تقوم تلقائياً بإرسال أشعة غير مرئية شبيهه في مفعولها بأشعة إكس *X-Ray* ، وبعد ذلك بقليل أكتشفت مدام كوري أن لعنصر الثوريوم نفس الخاصية وأقترحت تسميتها بخاصية الإشعاع وتسمية العناصر التي لها تلك الخاصية بإسم العناصر المشعة ، وقبل نهاية عام 1898 م نجحت مدام كوري وزوجها بيير كوري في إكتشاف عنصر الراديوم وعزله هو وغيره من العناصر المشعة الأخري (وجدير بالذكر أن جميع العناصر التي يزيد وزنها الذري عن 82 هي عناصر مشعة).

وتفسر ظاهرة الإشعاع علي أساس من نظرية التحلل الذري والتي تنادي بأن العناصر المشعة مثل اليورانيوم والثوريوم تتعرض لتحلل ذري تلقائي بطئ بمعدلات ثابتة لا تتأثر بالظروف المحيطة من حرارة أو ضغط أو تفاعلات كيميائية وما شابهها ، وتنتج في النهاية الرصاص والهيليوم ، وقد حسب معدل تحلل كل هذه العناصر المشعة في المعمل ووجد أنه ثابت بالنسبة لكل عنصر مهما أختلفت الظروف المحيطة ، ولقد عُبر عن معدلات التحلل الإشعاعي بما يسمي فترة عمر النصف (وهي الفترة اللازمة لكي يفقد وزن معين العنصر المشع نصفه علي هيئة نهايته غير المشعة).

النظائر المشعة (*Isotopes*) عبارة عن شكلين أو أكثر لنفس العنصر والتي لديها نفس العدد الذري والخواص الكيميائية ولكنها تختلف في العدد الكتلي أي أنها تختلف بعدد النيوترونات الموجودة في النواة.

$$Ca \begin{matrix} 40 \\ 20 \end{matrix}$$

40 (العدد الكتلي = عدد البروتونات + عدد النيوترونات)

20 (العدد الذري = عدد البروتونات = عدد الألكترونات)

فعلي سبيل المثال يتحلل عنصر اليورانيوم إلي الثوريوم ويقوم بإطلاق أشعة ألفا (α) بشكل شحنات موجبة من الهيليوم.

$$U^{238}_{92} \rightarrow Th^{234}_{90} + He^{4}_{2}$$

ويسمي عنصر اليورانيوم بالعنصر الأم (*Parent Element*) كما يسمي الثوريوم بالعنصر الوليد (*Daughter Element*) ، والفترة الزمنية اللازمة لتحول نصف كمية العنصر الأم إلي العنصر الوليد تسمي فترة عمر النصف.

النظائر الآتية من أكثر النظائر المستعملة في تقدير العمر المطلق للصخور والمعادن :-

1) طريقة البوتاسيوم أرجون

في هذه الطريقة يتحول البوتاسيوم 40 (العدد الذري 19) بإكتساب الكترون إلي الأرجون 40 (العدد الذري 18) ، ونصف عمر البوتاسيوم 40 يساوي 1300 مليون عام ، ويمكن تطبيق هذه الطريقة علي أنواع كثيرة من الصخور النارية القاعدية (البازلت) والنيازك التي يصل عمرها إلي 4600 مليون عام ، ويمكن إستعمال هذه الطريقة لتحديد عمر الصخور التي تتراوح أعمارها بين 0.4 مليون عام وأكثر من 3000 مليون عام.

2) طريقة الروبيديوم أسترونشيوم

في هذه الطريقة يتحول الروبيديوم 87 (العدد الذري 37) بفقدان جسيم بيتا إلي أسترونشيوم 87 (العدد الذري 38) ، ونصف عمر الروبيديوم 87 يساوي 50.000 مليون عام ، ويمكن تطبيق هذه الطريقة علي الصخور الحاوية للمسكوفيت والبيوتيت والفلسبار والصخور الغنية بالبوتاسيوم ؛ لآن معظم المعادن الحاوية للبوتاسيوم تحتوي علي شوائب من الروبيديوم ، كما أن هذه الطريقة تستعمل في تحديد عمر الصخور التي يزيد عمرها عن 30 مليون عام وذلك لقلة نسبة الأسترونشيوم المكونة في الصخور التي تكون أحدث عمراً من 30 مليون عام.

3) إستعمال نظائر اليورانيوم والثوريوم التي تتحول إلي نظائر مختلفة من الرصاص كما يلي :-

$$U^{238} \xrightarrow{8\ alphas + 6\ betas} Pb^{206} \quad \rightarrow \quad t_{1/2} = 4500\ milion\ year$$

$$U^{235} \xrightarrow{7\ alphas + 4\ betas} Pb^{207} \quad \rightarrow \quad t_{1/2} = 713\ milion\ year$$

$$Th^{232} \xrightarrow{6\ alphas + 4\ betas} Pb^{208} \quad \rightarrow \quad t_{1/2} = 13900\ milion\ year$$

وتستعمل هذه النظائر لتحديد عمر الصخور التي يزيد عمرها عن 100 مليون عام.

4) طريقة الكربون نيتروجين

في هذه الطريقة يتحول الكربون 14 (العدد الذري 6) بفقدان جسيم بيتا إلي نيتروجين 14 (العدد الذري 7) ، ونصف عمر الكربون المشع يساوي 5600 عام ، وتستعمل هذه الطريقة لتحديد عمر بقايا يصل إلي 40.000 عام ، وتعتبر هذه الطريقة جيدة لدراسة البقايا التاريخية.

***خلاصة القول* فإن تحديد العمر المطلق للأرض بإستخدام النظائر المشعة يمكن تلخيصه بأن بعض النظائر المشعة تكون نشطة إشعاعياً مما يعني أنها غير مستقرة وتميل إلي التحلل ، أي أن الذرة سوف تتغير هيأتها ذاتياً من غير مستقرة إلي مستقرة ، وهناك هيأتين للتحلل الإشعاعي والتي توضح كيف يحدد الجيولوجيون أعمار الصخور ، فإذا تحلل عنصر ما عن طريق فقدان دقائق الفا فإنه سوف يفقد (2 بروتون و 2 نيوترون) ، أما إذا فقدت الذرة دقائق بيتا فإنها سوف تفقد الكترون واحد فقط ، ولمعرفة كيف تفيد هذه العملية في حساب عمر الآرض فإن التحلل الإشعاعي للعنصر المشع غير المستقر سيؤدي إلي تكون عنصر وليد مستقر وأن المواد المشعة تتحلل بنسب معلومة حيث تقل نسبة العنصر المشع غير المستقر بينما تزداد نسبة العنصر الوليد المستقر مع مرور الزمن ، وبناءً عليه فإن الصخرة التي تحتوي علي نسبة عالية من النظائر المشعة غير المستقرة تعتبر حديثة العمر بينما تعتبر الصخرة التي تحتوي علي نسبة عالية من العناصر الوليدة قديمة العمر.**

ويقيس العلماء نسبة التحلل الإشعاعي بوحدات تسمي نصف العمر وهي الفترة اللازمة لتحلل نصف ذرات النظير المشع غير المستقر وتحولها إلي ذرات لعنصر وليد أكثر إستقراراً ، فمثلاً لو تصورنا أن هناك مادة مشعة نصف عمرها سنة واحدة فالصخرة التي تحتوي علي هذه المادة المشعة تكون في بداية تكونها محتوية علي عدد معلوم من الذرات المشعة ، وبعد مرور سنة واحدة من تكون الصخرة (أي مرور فترة نصف عمر واحدة) فإن نصف الذرات المشعة تكون قد تحللت لتنتج عنصر وليد مستقر ويبقي 50 % من الذات المشعة ، وبعد مرور سنة ثانية علي تكون الصخرة الأصلية (فترة نصف عمر ثانية) فإن نصف الذرات المشعة المتبقية تكون قد تحللت وبقي 25 % من الذرات المشعة ، وبعد مرور سنة ثالثة علي تكون الصخرة الأصلية (فترة نصف عمر ثالثة) يتبقي 12.5 % من الذرات المشعة ، وبعد مرور سنة رابعة (فترة نصف عمر رابعة) فإن نصف الذرات المشعة المتبقية تكون قد تحللت وبقي 6.25 % من الذرات المشعة ، وبعد مرور سنة خامسة (فترة نصف عمر خامسة) فإن نصف الذرات المشعة المتبقية تكون قد تحللت وبقي 3.125 % من الذرات المشعة ، فلو أردنا معرفة عمر صخرة تحتوي علي مواد مشعة فترة نصف عمرها سنة واحدة وكانت نسبة الذرات المشعة (ذرات العنصر المشع الأم) هي 3.125 % بينما ذرات العنصر الوليد هي 96.875 % فيمكن إستنتاج أن عمر الصخرة هو 5 سنوات.

وفي النهاية وبإستخدام مواد مشعة مختلفة تمكن العلماء من إيجاد صخر عمره 800 مليون عام ، ومع الوقت تمكن العلماء من إيجاد صخر عمره فوق الـ 4 مليار عام ، وطبقاً لآخر القياسات آعلن العلماء بأن العمر المطلق للأرض يُقارب من 4.6 مليار عام.

العمود الجيولوجي GEOLOGIC COLUMN

تمكن الجيولوجيون من وضع **العمود الجيولوجي** كتقويم يشمل كل تاريخ الآرض (زمنياً وصخرياً) ، وتوقيت الزمن الجيولوجي وتقسيم العمود الصخري الذي يمثله إلي مراحل متعاقبة قد قام من حيث الآساس علي نقطتين هامتين :-

← الإستفادة من التطورات والتغيرات المستمرة التي طرأت علي الكائنات الحية مع مرور الزمن.

← الإستعانة بوجود ثغرات مكررة في السجل الصخري ، وهذه الثغرات تختلف في طولها وهي تمثل فترات من الإضطرابات في القشرة الآرضية ، وأن التغيرات الجوهرية في طبيعة الآحياء كانت في كثير من الآحيان تعاصر الثورات الكبري في القشرة الآرضية ، وهذا أدي إلي تقسيم السجل الصخري إلي أقسام كبري علي أساس التغيرات الرئيسية في هذا السجل ، وهذه الأقسام هي الآحقاب والتجمعات المبنية علي كل تطور الحياة وعلي الثورات الجيولوجية ، بينما التقسيمات الأصغر من ذلك في العمود الجيولوجي تعتمد أكثر علي تطور الحياة.

وهناك نوعين من التقسيمات للزمن الجيولوجي ، التقسيم الطبقي الزمني تَكون الوحدات فيه طبقات رسوبية فعلية (صخور الدهر ، صخور الحقبة ، النظام ، السلسلة ، المرحلة) ، والتقسيم الجيولوجي الزمني الذي تكون الوحدات فيه فترات زمنية تساوي الزمن الذي ترسبت فيه وحدات التقسيم الطبقي الزمني (الدهر ، الحقبة ، العصر ، الحين ، العمر).

وحدات طباقية زمنية *Chronostratigraphic Units*	وحدات جيولوجية زمنية *Geochronologic Units*
صخور الدهر *Eonothem*	دهر *Eon*
صخور الحقبة *Earthem*	حقبة *Era*
نظام *System*	عصر *Period*
سلسلة *Series*	حين *Epoch*
مرحلة *Stage*	عمر *Age*

<table>
<tr><th>Epoch حين / فترة</th><th colspan="2">Period عصر</th><th colspan="2">Era حقبة</th><th>Eon دهر</th></tr>
<tr><td>Holocene الهولوسين</td><td colspan="2" rowspan="2">العصر الرابع
Quaternary</td><td colspan="2" rowspan="7">حقبة الحياة الحديثة
Cenozoic</td><td rowspan="16">دهر الحياة الظاهرة
بدأ منذ 542 مليون عام
يُشكل 13 % من عمر الآرض.</td></tr>
<tr><td>Pleistocene البلستوسين</td></tr>
<tr><td>Pliocene البليوسين</td><td rowspan="2">عصر النيوجين</td><td rowspan="5">العصر الثالث
Tertiary</td></tr>
<tr><td>Miocene الميوسين</td></tr>
<tr><td>Oligocene الإوليجوسين</td><td rowspan="3">عصر الباليوجين</td></tr>
<tr><td>Eocene الإيوسين</td></tr>
<tr><td>Paleocene الباليوسين</td></tr>
<tr><td rowspan="3">----</td><td colspan="2">Cretaceous الطباشيرى</td><td colspan="2" rowspan="3">حقبة الحياة المتوسطة
Mesozoic</td></tr>
<tr><td colspan="2">Jurassic الجوراسى</td></tr>
<tr><td colspan="2">Triassic الترياسي</td></tr>
<tr><td rowspan="6">-----</td><td colspan="2">Permian البرمى</td><td rowspan="3">المتاخر
Late</td><td rowspan="6">حقبة الحياة القديمة
Paleozoic</td></tr>
<tr><td colspan="2">Carboniferous الكربوني</td></tr>
<tr><td colspan="2">Devonian الديفوني</td></tr>
<tr><td colspan="2">Silurian السيلورى</td><td rowspan="3">المبكر
Early</td></tr>
<tr><td colspan="2">Ordevician الآوردفيشى</td></tr>
<tr><td colspan="2">Cambrian الكمبرى</td></tr>
<tr><td>----</td><td colspan="2">----</td><td colspan="2">الحياة الآبتدائية (الآولية)
Proterozoic</td><td rowspan="3">دهر الحياة الغير ظاهرة
" ما قبل الكمبري "
يُشكل 87 % من عمر الآرض.</td></tr>
<tr><td>----</td><td colspan="2">----</td><td colspan="2">Archean الحياة السحيقة</td></tr>
<tr><td>----</td><td colspan="2">----</td><td colspan="2">Hadean الهديان</td></tr>
</table>

دهر الهاديان HADEAN EON

يُمثل دهر الهاديان أقدم جزء من تاريخ الآرض ، أي الفترة من 4600 وحتي 4000 مليون سنة مضت ، ولآ يوجد سجل صخري يُمثل هذا الدهر علي كوكب الآرض ، بينما توجد صخور تنتمي لهذا الدهر علي الكواكب الآخري التي لم تتأثر قشرتها الأولية تاثيراً كبيراً منذ نشاتها.

دهر الحياة السحيقة أو الآركي ARCHEAN EON

يُمثل هذا الدهر الفترة من 4000 وحتي 2500 مليون سنة مضت ، ويشمل دهر الآركي أقدم صخور القشرة الآرضية التي تحتوي علي أشكال حية ميكروسكوبية ذات خلية واحدة تشبه البكتريا ، وتتكون من صخور نارية ومتحولة ومعها صخور رسوبية علي قدر عالي من التحول والتهشم.

دهر الحياة الأبتدائية أو البروتيروزوي PROTEROZOIC

يُمثل هذا الدهر الفترة من 2500 وحتي 542 مليون سنة مضت ، ويشمل هذا الدهر صخور ما قبل الكمبري الآحدث عمراً والتي تتكون من الصخور النارية والرسوبية التي تأثرت بقدر محدود من التحول ، ويحتوي هذا الدهر علي حياة أكثر تقدماً من ذوات الخلية الواحدة أو عديدات الخلايا بلا هيكل صلب.

دهر الحياة الظاهرة PHANEROZOIC EON

صخور هذا الدهر أحدث عمراً من صخور ما قبل الكمبري وتمتد من 542 مليون سنة مضت وحتي الآن ، وهي أقل تعقيداً وتحتوي علي العديد من الآحافير التي مكنت الجيولوجيين من مضاهاتها عالمياً علي نطاق واسع ، والمدة التي أعقبت نهاية دهور ما قبل الكمبري تدعي بدهور الحياة الظاهرية *Phanerozoic Eon* وهي مشتقة من أصل إغريقي يعني الحياة المرئية *Visible Life* ، وهذا الدهر قسم إلي ثلاث حقب رئيسية وهي حقبة الحياة القديمة وحقبة الحياة المتوسطة وحقبة الحياة الحديثة ، والتي قسمت بدورها إلي عدد من العصور.

حقبة الحياة القديمة PALEOZOIC ERA

ترتكز صخور حقبة الحياة القديمة علي صخور أقدم تنتمي إلي أزمنة ما قبل الكمبري ، وتتميز حقبة الحياة القديمة بحدوث حركات أرضية بانية للجبال تنتمي إلي ثورتين تكتونيتين أدتا إلي تكوين ما يعرف بإسم السلاسل الكاليدونية والسلاسل الهرسينية ، ويُستفاد من هاتين الثورتين التكتونيتين في تقسيم حقبة الحياة القديمة إلي قسمين :-

1. حقبة الحياة القديمة المبكرة *Early Paleozoic* (العصر الكمبري ، العصر الآوردوفيشي ، العصر السيلوري).
2. حقبة الحياة القديمة المتأخرة *Late Paleozoic* (العصر الديفوني ، العصر الكربوني ، العصر البرمي).

العصر الكمبري Cambrian Period

تعود تسمية العصر بهذا الإسم نسبة لكمبريا *Cambria* الإسم الكلاسيكي لويلز (بريطانيا) حيث وجدت أول الصخور التي درست من تلك الفترة ، ويعتبر الكمبري أقدم عصر وجد في صخوره أحياءاً متعددة الخلايا متحفرة باعداد كبيرة وأشكال متنوعة ، حيث ظهرت فجأة خلال هذه الفترة حوالي خمسين مجموعة رئيسية مستقلة بدون أسلاف مؤكدة في معظم الحالات ، وهذا التضخم والتشعب الهائل في شعب الحيوانات هو ما يشار له بظاهرة الإنفجار الكمبري.

العصر الآوردوفيشي Ordovician Period

بدأ هذا العصر بعد إنقراض عدد كبير من الكائنات التي كانت تسودها آنذاك ، وظهر في هذا العصر النباتات الأولية والأشجار الفضية آكلة اللحوم فوق اليابسة ، وظهرت أول أنواع الآسماك في هذا العصر ، كما ظهرت الشعب المرجانية ونجوم البحر وجراد البحر وقنافذ البحر وظهرت أيضاً كائنات بحرية لها أصداف وأذناب تحمي بها نفسها.

العصر السيلوري Silurian Period

عند بداية هذا العصر إنصهرت كميات كبيرة من التكوينات الجليدية نتيجة لآختلاف المناخ مما أدي إلي رفع منسوب الماء ، ويعتقد العلماء بأن هذا العصر قد شكل فترة مهمة من ناحية التطور في الكائنات البحرية حيث ظهرت الآرياف البحرية وتطورت الآسماك.

وكان في هذا العصر بداية الحيوانات فوق اليابسة كالعقارب والعناكب وأم أربعة وأربعين رجل وبعض النباتات الفطرية الحمراء التي كانت تلقي بها الآمواج للشاطي لتعيش فوق الصخور وفيه أيضاً ، كما ظهرت أول نباتات أرضية في هذا العصر.

العصر الديفوني Devonian Period

سُمي هذا العصر بهذا الإسم بعد العثور لآول مرة علي أحافير لذلك العصر في منطقة ديفون بانجلترا ، وفيه ظهرت بعض الآسماك البرمائية وكان لها رئات وخياشيم وزعائف قوية ، كما ظهرت الراسقدميات كالحبار والأشجار الكبيرة ، ومن حفريات هذا العصر الآسماك والمرجانيات الرباعية والسرخسيات.

العصر الكربوني Carboniferous Period

يتميز هذا العصر ببداية ظهور الزواحف وزيادة عدد الآسماك حيث ظهر 200 نوع من القروش ، ثم ظهرت الحشرات المجنحة العملاقة وأشجار السرخس الكبيرة ، وفي طبقاته الصخرية ظهر الفحم الحجري وبقايا النباتات الزهرية بالغابات الشاسعة التي كانت أشجارها غارقة في المياه التي كانت تغطي معظم الآرض ، وكانت حشرة اليعسوب عملاقة وكان لها أربعة أجنحة ، وكانت الضفادع في هذا العصر في حجم العجل وبعضها لها ثلاث عيون وكانت العين الثالثة فوق قمة الرأس وتظل مفتوحة للحراسة.

العصر البرمي Permian Period

في هذا العصر زادت أعداد الفقاريات والزواحف وظهرت البرمائيات وأنقرضت فيه معظم الأحياء التي كانت تعيش من قبله ، وفيه ترسبت الآملاح بسبب إرتفاع درجة حرارة الجو وأختفت في هذا العصر مساحات شاسعة من المحيطات نتيجة تبخر الماء في النصف الشمالي وتجمعها في الجنوب ، وقد نشأت فيه مواضع من الترسيبات الملحية التي بلغ سمكها حوالي 100 م ، وبدأ في هذا العصر تكون جبال الأورال والأبلاش كما تكونت فيه صخور ملحية وجبس وأنهيدريت والحجر الرملي.

حقبة الحياة المتوسطة MESOZOIC ERA

العصر الترياسي Triassic period

كان في هذا العصر أول ظهور للديناصورات والثدييات وبعض الزواحف كالسلحفاة والقواقع والذباب والنباتات الزهرية ، وأنتهي هذا العصر بإنقراض صغير قضي علي حوالي 35 % من الحيوانات بما فيها البرمائيات والزواحف البحرية مما جعل السيادة فوق الآرض للديناصورات ، وأثناء هذا العصر بدات قارة بانجيا التي تكونت في العصر البرمي في التفتت مرة أخري إذا إنفصلت قارة لوراسيا عن قارة جندوانا عبر بحر التيثيز ، وفي نفس الوقت إنفصلت الهند وأستراليا والقارة القطبية الجنوبية من الآطراف الجنوبية لقارة جندوانا.

العصور الجوراسي Jurassic period (عصر الديناصورات العملاقة)

ظهر في هذا العصر الحيوانات ذوات الدم الحار وبعض الثدييات والنباتات الزهرية ، ومع بداية ظهور الطيور والزواحف العملاقة بالبر والبحر منذ حوالي 170 إلي 70 مليون سنة كانت توجد هناك طيور ذات أسنان ، كما ظهر في هذا العصر حيوان الدبلودوكس وهو أكبر الزواحف التي ظهرت وكانت تعيش في المستنقعات ، ولهذه الزواحف رقبة ثعبانية طويلة ورأس صغيرة تعلو بها فوق الآشجار العملاقة ، وظهرت الزواحف الطائرة ذات الشعر والأجنحة وكانت ذات حجم مثل حجم الصقر ، وظهر طائر الأركيوبتركس وهو أقدم طائر وكان في حجم الحمامة ، وكانت أشجار السرخس ضخمة ولها أوراق متدلية فوق الماء وأشجار الصنوبر كانت لها أوراق عريضة وجلدية (حالياً أوراقها إبرية) ، ومنذ حوالي 139 مليون سنة ظهرت الفراشات وحشرات النمل والنحل البدائية ، وخلال الفترة من 190 إلي 160 مليون سنة حدث إنقراض صغير لبعض الأنواع التي إنتشرت خلال العصور السابقة.

العصر الطباشيري Cretaceous Period

تعود تسمية العصر بهذا الإسم من كلمة لاتينية هي كريتا وتعني الطباشير ، وفي هذا العصر إنقرضت الديناصورات بعد أن سادت الآرض لمدة تقارب المائة مليون عام ، حيث وقع في هذا العصر إنقراض أودي بحياة الديناصورات منذ 65 مليون عام وقضي علي نصف أنواع اللافقاريات البحرية ، وزادت فيه أنواع وأعداد الثدييات الصغيرة البدائية كالكنغر والنباتات الزهرية ، ومنذ 80 مليون عام ظهر بط السورولونس العملاق الذي كان يعيش بالماء وكان إرتفاعه حوالي ستة أمتار وله عُرف فوق رأسه ، وخلال العصر الطباشيري تَكونت جبال روكي والألب.

حقبة الحياة الحديثة CENOZOIC ERA

" *تشمل حقبة الحياة الحديثة عصرين وهما العصر الثلاثي والعصر الرباعي* "

العصر الثلاثي Tertiary (والذي إنقسم إلي عصرين) :-

1. **عصر الباليوجين** Paleogene Period (وقد قسم هذا العصر إلي ثلاث فترات) :-

الباليوسين Paleocene Epoch

مع بداية هذه الفترة تم فتح بحر النرويج ، وفيها ظهرت الثدييات الكبيرة المشيمة ، كما ظهرت الرئيسيات الآولية ومن بينها الشمبانزي والفئران الصغيرة وقنافذ بلآ أشواك فوق جسمها وخيول صغيرة في حجم الثعلب لها حوافر مشقوقة بثلاث أصابع.

الإيوسين Eocene Epoch

ظهرت في هذه الفترة القوارض والحيتان الأولية وكانت تعيش فيه أسلاف حيوانات اليوم ، ومع نهاية هذه الفترة وحتي فترة الإوليجوسين أندمجت الهند مع قارة آسيا ونشاة المحيط الهندي.

الإوليجوسين Oligocene Epoch

وُجدت في هذه الفترة أجداد الأفيال المصرية المنقرضة ، وظهرت فيها أنواع جديدة من الثدييات مثل الخنازير البرية ذات الأرجل الطويلة حيث كانت تغوص في الماء نهاراً وتسعي في الأحراش ليلاً ، كما ظهرت القطط وحيوان الكركدن (الخرتيت) الضخم وكان يشبه الحلوف ألا أن طباعه كانت تشبه طباع الزرافة ، كما ظهر الفيل المائي الذي كان يشبه فرس النهر وكان فمه واسعاً وله نابان مفلطحان لهذا أطلق عليه حيوان البلاتيبلادون الذي كان يعيش علي الأعشاب المائية ، وكانت الطيور كبيرة وصغيرة وكان من بينها النسور والطيور العملاقة التي كانت تشبه النعام ألا أنها كانت أكبر منها حجماً وكانت لا تطير بل تعدو وكان صغيرها في حجم الدجاجة ألا أنها مسالمة ، ووجد طائر الفوروهاكس العملاق وكان رأسه أكبر من رأس الحصان ومنقاره يشبه الفاس وعيناه لا ترمشان ويمزق فريسته لآنه كان يعيش علي الدم.

2. **عصر النيوجين** Neogene Period (وقد قسم هذا العصر إلي فترتين) :-

الميوسين Miocene Epoch

كان عصر الفيلة بمصر ، ورسوبياته غنية بالبترول ، وظهر خلال هذه الفترة أنواع أخري من الثدييات مثل الحصان والكلاب والدببة والطيور المعاصرة والقردة في أمريكا وجنوب أوروبا.

البليوسين Pilocene Epoch

مع بداية هذه الفترة ظهر القرد الجنوبي المتوحش ، وبدأ في نهايته ظهور أشباه الإنسان والحيتان المعاصرة بالمحيطات.

العصر الرباعي Quaternary (يشمل الوقت الحاضر ويتكون من فترتين) :-

البلستوسين Pleistocene Epoch

كان في هذه الفترة العصر الجليدي الآخير حيث إنقرضت الثدييات العظمية (الفقارية) عندما غطي الجليد معظم الآرض وقبله منذ مليون سنة كان الجو حاراً وكانت الطيور وقتها مغردة والحشرات طائرة ، وعاش في هذه الفترة حيوان البليوتراجس الذي كان يشبه الحصان والزرافة وكان له قرون فوق رأسه وأرجله مخططة وأذناه تشبه أذن الحمار.

وعاش أيضاً في هذه الفترة فيلة الماموث وحيوان الدينوثيرم الذي كان يشبه الفيل لكن أنيابه لآسفل ، وحيوان الخرتيت وكانت صوفية الشعر الذي كان يصل للآرض ، والفيلة كانت أذناها صغيرتين حتي لا تتأثرا بالصقيع ، كما ظهر القط (سابر) ذو الآنياب الكبيرة والنمور ذوات الآسنان ، وفي هذه الفترة كثرت الآمطار في شمال أفريقيا رغم عدم وجود الجليد بها ، وقد ترك الإنسان الآول أثاره بعد إنحسار الجليد وقد حدث خلاله إنقراض كبير للثدييات الضخمة وكثير من أنواع الطيور بسبب الجليد حيث كانت الآرض مغطاة بالأشجار القصيرة كأشجار الصنوبر والبتولا.

الهولوسين Holocene Epoch

بدأت هذه الفترة منذ 11.700 عام وحتي الآن وهو آخر العصور الجيولوجية ويشمل الفترة التاريخية من حياة الإنسان ، ومعظم الكائنات التي تعود لهذه الفترة منذ بدايتها ظلت كما هي عليه اليوم إلا أن في هذه الفترة ظهرت الحضارة الإنسانية والكتابة ، وخلال هذه الفترة تم ثقب طبقة الآوزون وتلوث البيئة الآرضية وغرق بعض الشواطئ المصرية مثل راس البر وبور سعيد وإسكندرية.

علم الطبقات

علم الطبقات STRATIGRAPHY

علم الطبقات هو العلم الذي يختص بدراسة الصخور التي توجد علي هيئة طبقات وتدرس من ناحية طريقة تكوينها أي بيئة الترسيب وتوزيعها الجغرافي والزمني وتعاقبها ومضاهاتها مع الطبقات الأخري بالإضافة إلي تقسيمها إلي وحدات طباقية ، وهذا العلم يُطبق علي الصخور التي تكونت علي هيئة طبقات ، وعلي هذا فإن الصخور الرسوبية هي المادة الأساسية لتطبيقات هذا العلم ؛ لذلك يمنح هذا العلم إهتمام خاص بالصخور الرسوبية حيث أصبح يوجد فرع خاص لدراسة هذه الصخور يسمي بعلم الرواسب[1].

ويعتبر علم الطبقات أحد أهم فروع العلوم الجيولوجية لأنه يعتبر أهم طريقة للتعرف علي تاريخ طبقات الآرض ، حيث يقوم هذا العلم بالإهتمام بدراسة طبقات الصخور المختلفة والأسباب والقوانين التي تتسبب وتتحكم في تكوينها ، حيث تختلف أنواع الصخور المتكونة بإختلاف العوامل المؤثرة في تكوينها كما أن هذه العوامل تؤثر علي أماكن الترتيب الخاصة بهذه الصخور ، ويقوم العلماء المختصين في مجال الجيولوجيا بإستخدام ما يعرف بالسلم الجيولوجي من أجل تسجيل أوقات الأحداث التي تمر بها الآرض عبر ملايين السنين وإظهار العلاقات بين هذه الأحداث.

ويمكن تعريف الطبقة علي أنها الوحدة البنائية لعلم الطبقات كما أن المعدن هو الوحدة البنائية التي تتكون منها صخور القشرة الآرضية ، والطبقة الواحدة عبارة عن مجموعة مكونات طبيعية صلبة متشابهة في الخواص الكيميائية والفيزيائية والبيولوجية ، فإذا تغيرت هذه الخواص يدل ذلك علي تغير الطبقة إلي طبقة أخري ، وكل طبقة لها سمك وإمتداد أفقي معين ؛ لذلك نجد أن الطبقات تختلف عن بعضها البعض في السمك والإمتداد حيث نجد أن بعض الطبقات يتراوح سمكها بين عدة أمتار وحتي مئات الأمتار وهناك بعض الطبقات يقل سمكها عن 1 سم وهي طبقات رقيقة جداً تسمي ***Lamination***.

الهياكل الرسوبية Sedimentary Structures

تحتوي الصخور الرسوبية علي الكثير من التراكيب التي تسمي بـ التراكيب الرسوبية الأولية والتي تنتج خلال ترسيب الصخور الرسوبية أو بعد فترة قصيرة من ترسيب الصخور الرسوبية ، ومن أكثر الهياكل الرسوبية شيوعاً والتي يمكن التعرف عليها بسهولة ما يلي :-

1. التتابع الطبقي ***Stratification*** ◄ يعتبر التتابع الطبقي من أكثر الهياكل وضوحاً في الصخور الرسوبية ، حيث يتم ترسيب الطبقات فوق بعضها البعض في وضع أفقي ، ولكل طبقة لون مميز ونسيج مختلف عن الطبقات الأخري ، ويتم الفصل بين كل طبقة والأخري بواسطة أسطح فاصلة ***Bedding Planes***.



[1] علم الرواسب ***Sedimentology*** هو العلم الذي يهتم بدراسة تركيب الرسوبيات والصخور الرسوبية والعمليات الجيولوجية المشكلة لها ، وتطلق كلمة راسب على كل مادة صلبة كانت محمولة أو معلقة في وسط ناقل ثم ترسبت في إحدى بيئات الترسيب المختلفة.

2. التدرج الطبقي ***Graded Bedding*** ◄ عبارة عن تغير في حجم الحبيبات داخل الطبقة الرسوبية الواحدة تدريجياً من الخشن عند أسفل الطبقة إلي الدقيق الناعم في أعلاها.



وهناك نوعين من التدرج الطبقي وهما كالتالي :-

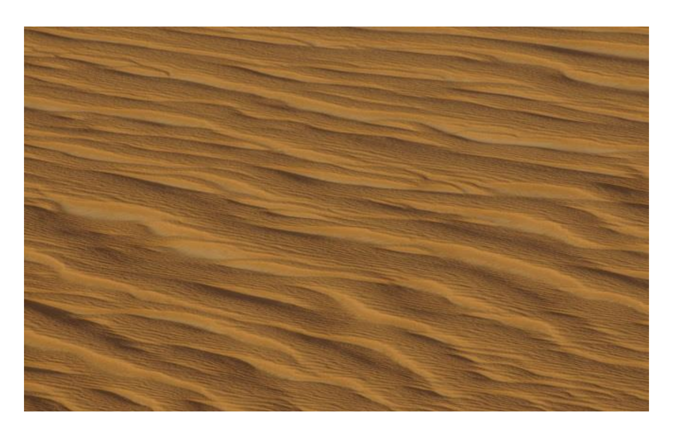
a. التدرج الطبيعي ◄ عندما تكون الحبيبات متدرجة في أحجامها من أحجام كبيرة أو خشنة في أسفل الطبقة ثم تقل أحجام الحبيبات بإنتظام حتي تصبح دقيقة أو ناعمة أعلي الطبقة ويطلق عليه التناعم نحو الأعلي ***Fining Upward***.

b. التدرج المعكوس ◄ يكون عكس التدرج الطبيعي ، أي أن الحبيبات الناعمة تتواجد في أسفل الطبقة والحبيبات الخشنة في أعلي الطبقة ويطلق عليه التخشن نحو الأعلي ***Coarsing Upward***.

3. التطبق المتقاطع ***Cross-Bedding*** ◄ عبارة عن النمط الذي تسلكه الرسوبيات الجديدة عند تأثيرها بأي من التيارات المائية أو التيارات الهوائية ، فإنها تبدو الطبقات علي شكل رقائق مائلة بالنسبة لمستويات التطبق الرئيسية.



4. علامات النيم ***Ripple Marks*** ◄ عبارة عن تموجات صغيرة تحدث علي سطح الطبقة العلوية والتي تنشأ بفعل الرياح أو التيارات الشاطئية أو الأمواج ، وعلامات النيم لها أهمية تاريخية كبيرة جداً حيث نستدل منها علي معرفة إتجاهات الرياح والمجاري المائية القديمة.



ويوجد نوعين مختلفين من علامات النيم وهما كالتالي :-

a. علامات النيم المتماثلة ***Symmetrical ripple marks*** ◄ توجد علامات النيم المتماثلة غالباً علي الشواطئ ، أي قرب المسطحات المائية المختلفة ، حيث يتم إنشاؤها بواسطة تيار مائي أو هوائي ثنائي الإتجاه مما يؤدي إلي ظهور علامات تموج ذات قمم حادة مدببة وقيعان مستديرة الشكل ولكنها لا تميل لآي إتجاه معين.

b. علامات النيم الغير متماثلة ***Asymmetrical ripple marks*** ◄ تنشأ علامات النيم الغير متماثلة بواسطة تيار مائي أو هوائي أحادي الإتجاه مثل علامات النيم التي تظهر علي رمال الصحراء بفعل حركة هبوب الرياح بإتجاه واحد مما يؤدي إلي ظهور علامات تموج ذات قمم حادة مدببة وقيعان مستديرة ولكنها تميل بقوة أكبر في إتجاه التيار ، ولهذا السبب يمكن إستخدام علامات النيم كمؤشرات تدل علي إتجاه التيارات المختلفة التي حدثت قديماً في موقع معين.

5. التشققات الطينية ***Mud Cracks*** ◄ عبارة عن جفاف ناتج عن تساقط أشعة الشمس علي الصخر الطيني ومع مرور الوقت يفقد الطين الماء الموجود به مما يؤدي إلي حدوث تشققات في الصخر الطيني.



مبادئ علم الطبقات

قبل الحديث عن مبادئ علم الطبقات لآبد من معرفة أن أي حدث تاريخي يجب أن يُعرف بتاريخ محدد مرتبط بالحاضر بواسطة تقويم دقيق ، وفي الجيولوجيا مثل هذا النظام التقويمي يسمح بتحديد زمن ترسيب الصخور وَتكون الأحافير ويعرف ذلك بالتقدير المطلق للزمن ***Absolute Dating*** ، وإذا لم يستطيع الجيولوجي تقدير العمر المطلق فإنه يستطيع ترتيب الأحداث الجيولوجية من الأقدم للأحدث حسب زمن حدوثها ويعرف ذلك بالتقدير النسبي للزمن ***Relative Dating*** ، ويستخدم علم الطبقات العمر النسبي لِنحدد أي الطبقات الصخرية أحدث من الطبقات الصخرية الآخري.

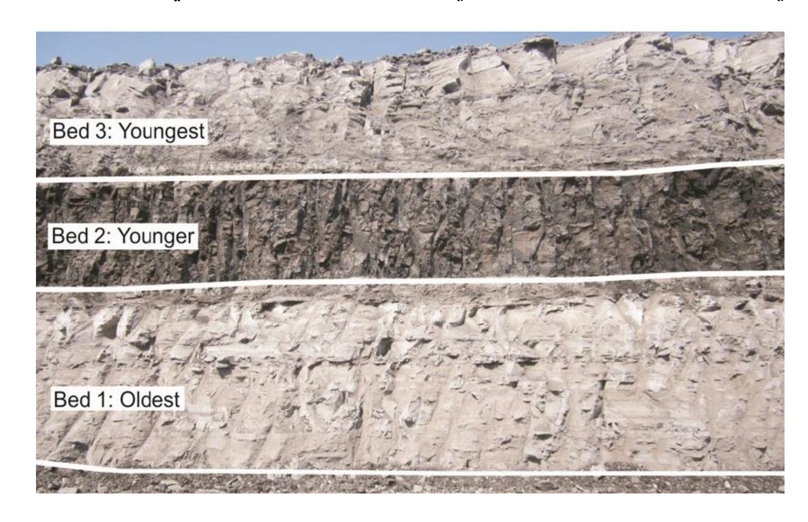
1) مبدأ الإنتظامية أو الوتيرة الواحدة ***Uniformitarianism***

إن أصل مصطلح ***Uniformitarianism*** مشتق من الكلمة الإنجليزية ***Uniform*** وتعني منتظم أو متماثل ، وقد حورت هذه الكلمة لتصبح إنتظامية ويقصد بها ثبات أو عدم تبدل العوامل الطبيعية علي سطح الآرض ونتائج تلك العوامل الطبيعية ، حيث وضع العالم الأسكتلندي جيمس هاتون هذا المبدأ والذي ينص علي إن القوانين الطبيعية والكيميائية والبيولوجية آلتي نلاحظها الآن هي نفسها التي سادت في الماضي ، وهذا يعني أن القوي والأساليب التي نراها الآن قد سادت بنفس الطريقة في الماضي ، وقد عبر العلماء حديثاً عن هذه الفكرة بقولهم (أن الحاضر هو مفتاح الماضي).

2) مبدأ تعاقب الطبقات ***Law of Superposition***

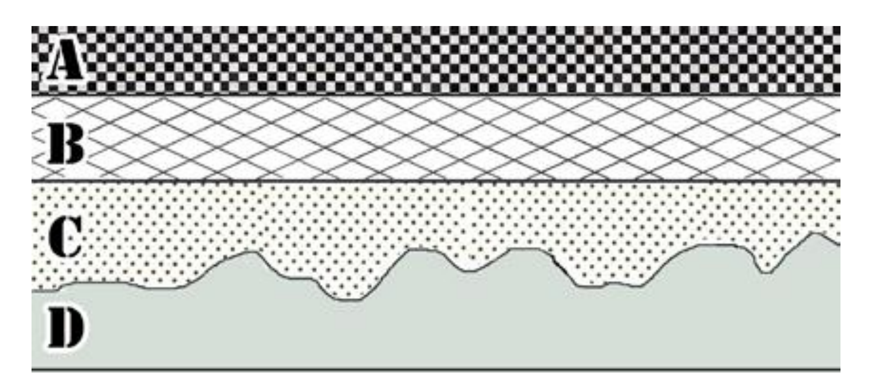
تتكون الصخور الرسوبية في بيئات ترسيبية مختلفة قد تَكون بحرية أو قارية وتحكمها ظروف ترسيبية تتحكم في نوع الطبقة الناتجة ومكوناتها ، وبتَغير هذه الظروف ينتهي ترسيب طبقة ويبدأ ترسيب طبقة أخري تعقبها دون إنقطاع في عملية الترسيب ، وبإستمرار عملية الترسيب وبتغير الظروف الترسيبية (مثل العمق ودرجة الحرارة) تتراكم العديد من الطبقات الرسوبية فوق بعضها البعض مكونة ما يسمي بـ التعاقب الطبقي.

إقتراح العالم الإيطالي نيكولاس ستينو هذا المبدأ والذي ينص علي إن طبقات الآرض تكونت بتدريج زمني متناسق حيث تكونت الطبقات الأقدم في الأسفل ثم تكونت الطبقات الأحدث أعلي الطبقات الأقدم ، ولا يطبق هذا المبدأ علي الطبقات التي تعرضت لحركات تكتونية عنيفة أدت إلي طيها ثم أنقلابها مما يؤدي إلي تغير ترتيب تعاقبها الأصلي ونجد أن الطبقات الأقدم تعلو الأحدث.



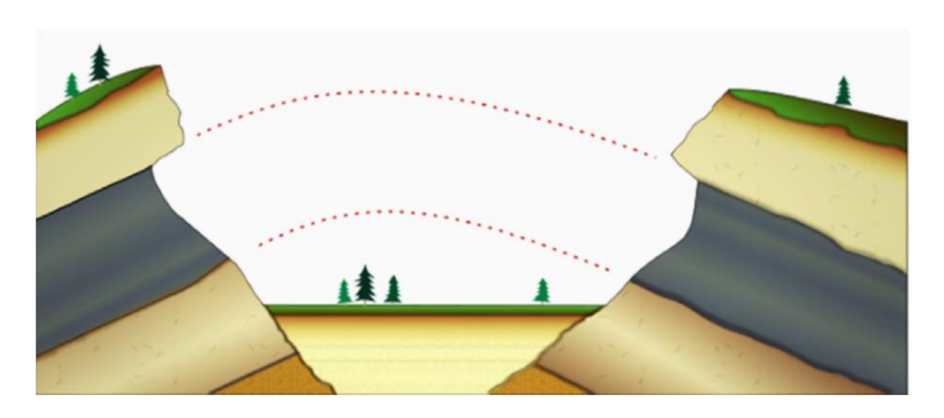
3) مبدأ الآفقية الأصلية ***Law of Original Horizontally***

ينص هذا المبدأ علي أن ترسيب الصخور الرسوبية حدث علي هيئة طبقات أفقية وذلك بسبب قوة الجاذبية الآرضية ، وتتكون هذه الطبقات في صورة تكون موازية لسطح الآرض ، ومن الممكن أن تتعرض هذه الطبقات لمجموعة من القوي الداخلية أو الخارجية التي تؤدي إلي حدوث الكثير من التشوهات في شكل الطبقات الآرضية المتكونة.



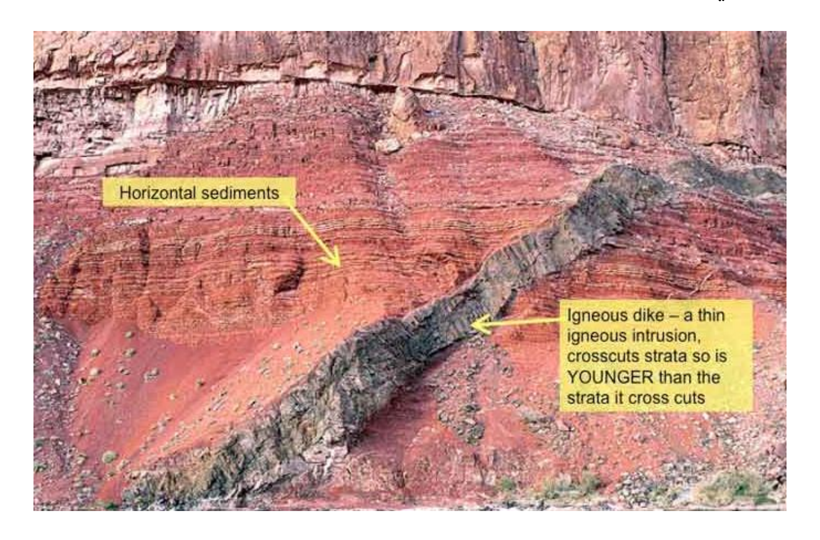
4) مبدأ الإستمرارية الجانبية ***Law of Lateral Continuity***

ينص هذا المبدأ علي أن الطبقات الرسوبية التي ترسبت علي هيئة أفقية تمتد بشكل جانبي في جميع الإتجاهات علي إمتداد حوض الترسيب ويحدث لها المزيد من التمدد حتي يصبح سمكها ضئيل جداً علي حواف حوض الترسيب.



5) مبدأ القاطع والمقطوع *Law of Cross Cutting Relationship*

ينص هذا المبدأ علي أن القاطع أحدث من المقطوع ، أي أن إذا وجد قاطع ناري أو صدع يقطع مجموعة من طبقات الصخور فهذا يدل علي أن القاطع الناري أو الصدع أحدث عمراً من طبقات هذه الصخور.



6) المكتنافات *Law of Inclusion*

ينص هذا المبدأ علي أن الجسم الصخري الذي يحتوي علي فتات من جسم صخري آخر ، فلآبد من أن يكون هذا الفتات أقدم من الجسم الصخري ذاته.

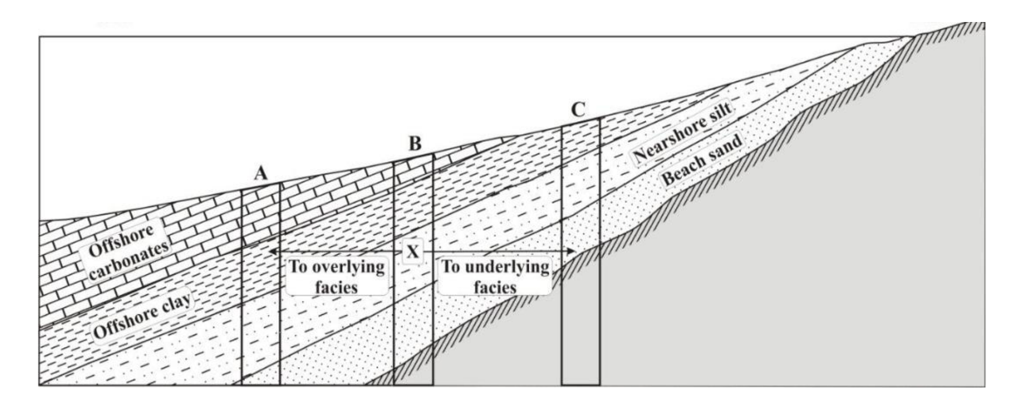


7) مبدأ التتابع الآحفوري *Law of faunal Succession*

تصور بعض الجيولوجيين أن صخور الآرض قد رُتبت ونظمت حسب ظهور وأختفاء الحفريات ، وأن أحد أهم الملاحظات في علم الجيولوجيا جاءت عن طريق كتابات العالم نيكولاس ستينو عام 1669 م والذي فسر تواجد الحفريات ضمن أجسام الصخور ، وهو أول من أفترض أن الصخور ليست صلبة دائماً خلال تكوينها ، وفي عام 1790 م وضع العالم ويل سميث هذا المبدأ والذي ينص علي أن كل طبقة أو مجموعة طبقات من الصخور الرسوبية تكونت في زمن معين تحتوي علي مجموعة معينة من الحفريات تميز زمن تكوينها ولا تتكرر هذه الحفريات مرة ثانية أثناء الزمن الجيولوجي ، ومن هذا المنطلق نستنتج أن الحفريات القديمة توجد في الطبقات القديمة بينما الحفريات الحديثة توجد في الطبقات الحديثة.

قانون والتر لتعاقب الطبقات Walther's Law of Facies Succession

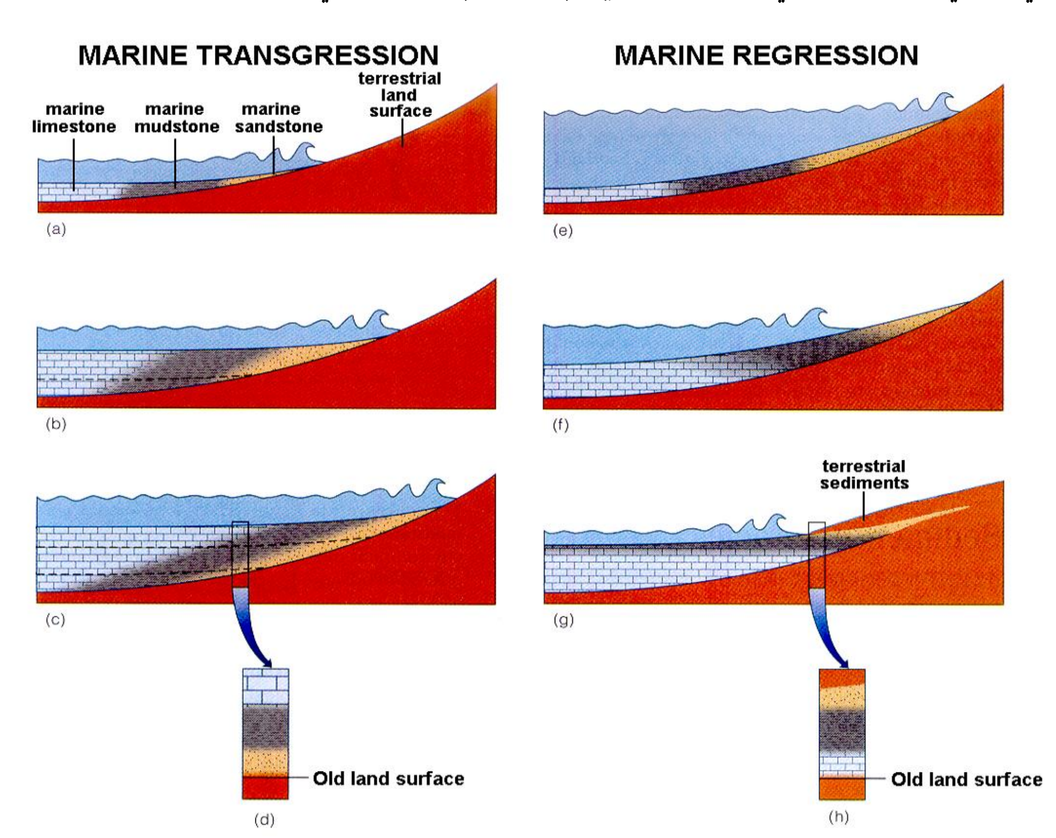
جاء العالم الألماني والتر عام (1860 - 1937 م) بهذا القانون والذي ينص علي إنه إذا وجد تتابع معين من الطبقات بشكل رأسي في قطاع ما بمنطقة معينة ، فإن هذا التتابع يمكن ملاحظته أيضاً بشكل أفقي ، ولفهم هذا القانون بصورة صحيحة يجب الحديث عن عملية مهمة جداً يطلق عليها تقدم وتراجع البحر.



تقدم وتراجع البحر *Transgression and Regression*

أولاً : تقدم البحر *Transgression* ◄ عبارة عن تقدم منسوب البحر وتغطية الماء لصخور الشاطئ مما يؤدي إلي هدم وتفتيت هذه الصخور ، وينتج عن هذا التقدم تسلسل أو تتابع رأسي من الرواسب ذات حبيبات ناعمة فوق رواسب ذات حبيبات خشنة (وهي كالتالي من أسفل لأعلي : الحجر الرملي ثم الطين ثم الحجر الجيري).

ثانياً : تراجع البحر *Regression* ◄ عبارة عن تراجع منسوب البحر مما يؤدي إلي ظهور جزء من القاع ، وأثناء هذه العملية تقل سرعة الماء مما يؤدي إلي ترسيب ما تم تفتيته ، وينتج عن هذا التراجع تسلسل أو تتابع من الرواسب ذات حبيبات خشنة فوق رواسب ذات حبيبات ناعمة (وهي كالتالي من أسفل لأعلي : الحجر الجيري ثم الطين ثم الحجر الرملي).



حدود الطبقات Stratigraphic Contacts

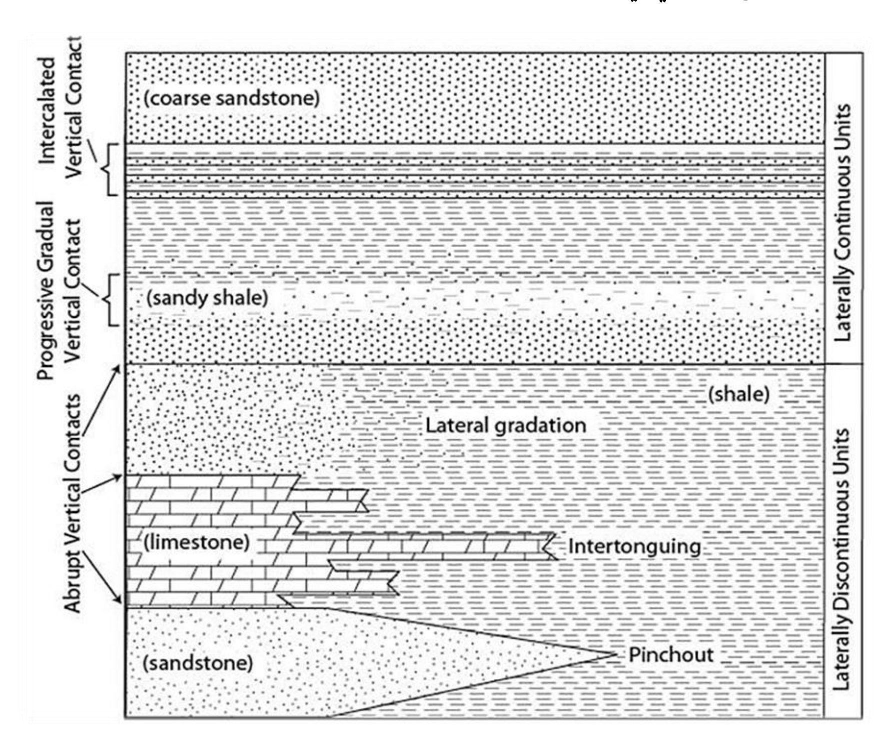
عبارة عن الحد الفاصل بين نوعين مختلفين من طبقات الصخور ، ويوجد نوعين أساسيين من حدود الطبقات وهما :-

أولاً : الحدود التوافقية ***Conformable Contacts*** ◄ عبارة عن الحدود الناتجة من إستمرار عملية الترسيب في نفس البيئة ولكن ظروف هذه البيئة متغيرة ، فمن المعروف أن الحجر الرملي والحجر الجيري ترسبا في بيئة بحرية ولكن ظروف ترسيب الحجر الرملي تختلف عن ظروف ترسيب الحجر الجيري ، ويرجع ذلك نتيجة لإختلاف العمق الذي ترسب فيه الصخر ، فترسب الحجر الرملي في بيئة بحرية ضحلة ، بينما الحجر الجيري ترسب في بيئة بحرية عميقة.

إذن مما سبق نفهم أن هذه الحدود ناتجة من إستمرار عملية الترسيب في نفس البيئة (أي البيئة البحرية مثلاً) ولكن الظروف تغيرت (أي إختلاف العمق الذي ترسب فيه الحجر الرملي عن العمق الذي ترسب فيه الحجر الجيري في نفس البيئة).

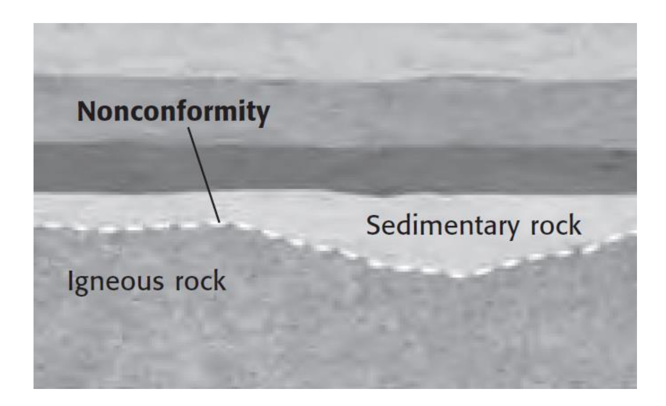
أنواع الحدود التوافقية

1) التغير المفاجئ ***Abrupt Change*** ◄ عبارة عن حد واضح يفصل بين طبقتين مختلفتين من الصخور.
2) التغير التدريجي ***Gradational Change*** ◄ وهذا الحد يصعب تميزه بسبب تداخل طبقات الصخور مع بعضها البعض مثل التداخل بين ترسيب الحجر الرملي مع الطفلة ، وفي هذه الحالة تسمي الطبقة بإسم مشترك (***Sandy Shale***).
3) تغير سريع متداخل ***Intercalated Change*** ◄ ينتج هذا النوع بسبب تقدم وتراجع البحر بسرعة وبشكل مستمر ، فعلي سبيل المثال عند تقدم البحر يتم ترسيب الحجر الجيري ثم يتراجع مرة أخري ويتم ترسيب حجر طيني وهكذا ، مما ينتج عن ذلك طبقة كبيرة بداخلها طبقتين وهما الحجر الجيري والحجر الطيني.
4) التغير الجانبي ***Laterally Change*** ◄ وهو التغير بين طبقات الصخور ولكن بشكل أفقي ، وهذا التغير الجانبي قد يحدث بشكل طبيعي أو قد يحدث نتيجة نشاط تكتوني أدي إلي إختفاء الطبقة كحدوث فالق مثلاً ، ويوجد ثلاث أنواع من التغيرات الطبيعية الجانبية للطبقات وهما كالتالي :-
   a) التلاشي ***Pinch-out***
   b) التلاسن ***Intertonguing***
   c) التدرج الجانبي في الرواسب ***Lateral Gradation***

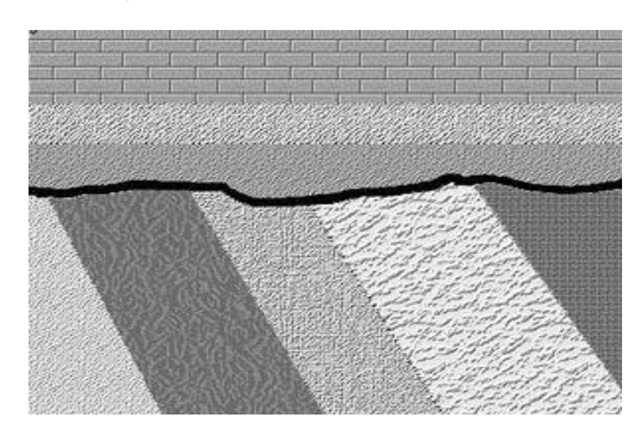


ثانياً : الحدود الغير توافقية ***Unconformable Contacts*** ◄ وهي الحدود الناتجة عن إنقطاع عملية الترسيب فترة من الزمن ، ومن أشهر أنواع هذه الحدود هي أسطح عدم التوافق وهي كالتالي :-

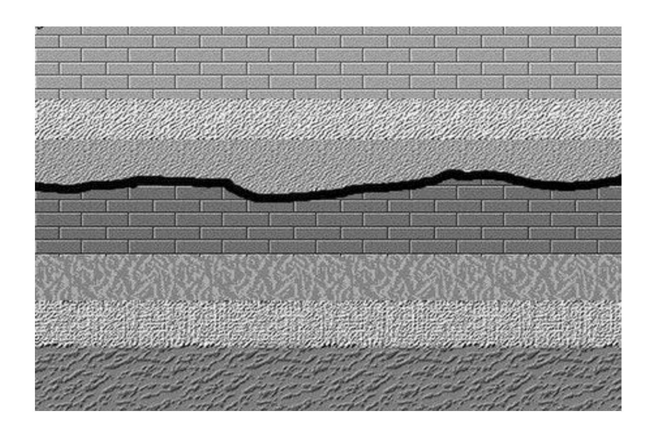
1. سطح عدم التوافق المتباين ***Nonconformity Surface*** : عبارة عن سطح عدم توافق يفصل بين مجموعتين مختلفتين من الصخور أحدهما صخور نارية أو صخور متحولة والأخري صخور رسوبية.



2. سطح عدم التوافق الزاوي ***Angular Unconformity*** : عبارة عن سطح عدم توافق يفصل بين مجموعتين من الصخور الرسوبية مختلفين في ميل الطبقات ، حيث ترسبت مجموعة من الطبقات في وضع أفقي ثم حدثت حركات تكتونية أدت إلي إمالة الطبقات ثم ترسب فوقها مجموعة أخرى من الطبقات في وضع أفقي.



3. سطح عدم التوافق الإنقطاعي ***Disconformity*** : عبارة عن سطح عدم توافق متعرجاً يفصل بين مجموعتين من الصخور الرسوبية كلاهما في وضع أفقي أو لهما نفس درجة الميل في نفس الإتجاه ، وفي هذا النوع من أنواع أسطح عدم التوافق ترسبت مجموعة من الطبقات (وليكن مثلاً 5 طبقات) في وضع أفقي ثم توقف الترسيب فترة من الزمن فأدي ذلك إلي تاكل الطبقات العلوية بسبب عوامل التعرية (وهي الطبقات رقم 5 و 4) ونتيجة هذا التاكل والتكسير يوجد فوق سطح الطبقة رقم (3) قطع من الحصي المستدير " الكنجلوميرات " ، ثم ترسبت مجموعة من الطبقات الرسوبية في وضع يشبه وضع المجموعة السفلية لها.



المضاهاة Correlation

تعرف المضاهاة بأنها مقارنة بين تتابع الطبقات في منطقة تم معرفة عمرها الجيولوجي مع تتابع ما في منطقة أخري وبالتالي يمكن التعرف علي عمر الصخور في هذه المنطقة الأخري ، وعلي هذا الأساس يمكن لعلماء الطبقات والحفريات مضاهاة تتابع ما من الطبقات في مصر وبه حفريات معينة وتعريفها بنفس أنواع الحفريات في منطقة أخري مثل فرنسا مثلاً.

أول من وضع طرق مضاهاة الطبقات هو العالم ويل سميث ، وتعتمد طرق المضاهاة علي تطبيق بعض القواعد التي تعرف بإسم قانون المضاهاة والتي تنص علي أن الطبقات التي لها نفس التركيب الحجري والمعدني والتي تحتوي علي حفريات متشابهة تنتمي إلي نفس العمر الجيولوجي ، وبالرغم من أن هذا القانون صحيح إلا أنه في بعض الأحيان يوجد صعوبة في تطبيقه لأن هناك طبقات تختلف في طبيعتها الصخرية ومحتواها الإحفوري ولكن بالرغم من ذلك تكونت في نفس الفترة الزمنية.

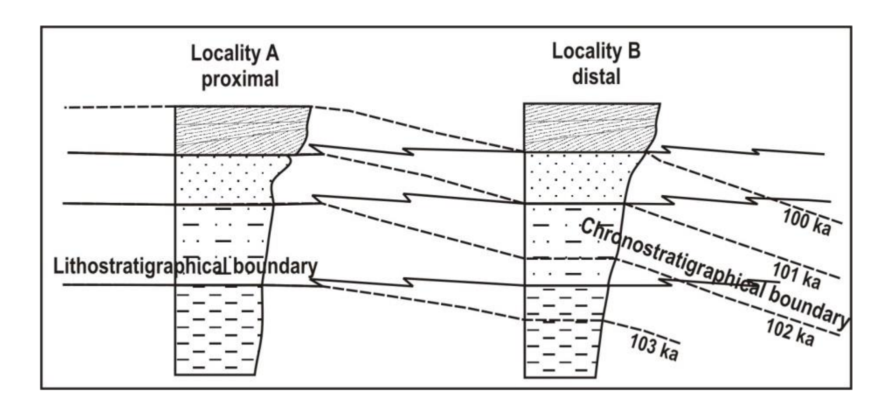
أنواع المضاهاة Types of Correlation

أولاً : المضاهاة الصخرية *Lithostratigraphy Correlation* ◄ يعتمد هذا النوع من المضاهاة علي مدي تشابه الصخور من حيث اللون والنسيج والتركيب المعدني ، حيث تكون هذه الخصائص متشابهة للصخر نفسه الذي ترسب تحت نفس الظروف ، وبالتالي يتم عمل مضاهاة للطبقات الصخرية الموجودة في مواقع مختلفة ، ويجب علي الجيولوجي أن يتبع القواعد التالية لإجراء المضاهاة الصخرية :-

1. المحتويات المعدنية *Mineral Contents* : تستخدم هذه الطريقة في الأحوال التي لا تحمل فيها الصخور أي نوع من أنواع الآحافير ، وتعتمد علي محتويات الصخر من المعادن الثقيلة (وذلك في حالة الصخور الرسوبية) وتعتبر محتويات الصخر من هذه المعادن قرينة يمكن الإعتماد عليها في المضاهاة بينها وبين الصخور الأخري ولكن تكون المضاهاة بهذه الطريقة أضعف من المضاهاة بواسطة المحتوي الآحفوري للصخور.
2. إستمرارية الطبقات *Continuity Of Strata* : وهذه أبسط الطرق المباشرة لمعرفة الطبقات ومضاهاتها وإستعمالها قاصر فقط علي الصخور الرسوبية التي توجد في حوض واحد أو في منطقة واحدة ، ولآ شك أنها تكون غير مجدية ولآ يمكن الإعتماد عليها في مضاهاة الطبقات بين الأحواض الترسيبية المتباعدة أو بين القارات.
3. التشابه الحجري للطبقات *Lithological Similarity* : تعتمد هذه القاعدة علي أن الطبقات ذات الخصائص الصخرية الواحدة قد تكون متطابقة في العمر ، ولكن أوضحت التجربة أنه لآ يمكن الإعتماد عليها إلا في حالات خاصة.
4. الملامح الطبوغرافية *Topographical Expressions* : تكون الملامح الطبوغرافية للصخور المتشابهة والمطابقة في العمر مميزة لها في الغالب ، وتعتمد هذه القاعدة في معرفة الطبقات علي أن الصخور المتماثلة في العمر والخصائص الحجرية تعطي نواتج متشابهة عندما تؤثر عليها عوامل التعرية ، وتتراكم هذه النواتج حيث تؤدي إلي ظهور طبوغرافية خاصة بنوع مميز من الصخور التي تنتمي إلي فترة واحدة ، ويجب ألا تستعمل هذه القاعدة في مضاهاة الطبقات إلا بحذر شديد ولا تصلح إلا في مضاهاة الصخور الرسوبية لمنطقة ترسيب واحدة.
5. الوضع البنائي *Structural Position* : تعتمد هذه الطريقة علي ملاحظة أن وضع الطبقات بالنسبة إلي تركيب بنائي معين غالباً ما يكون مفيداً في محاولة مضاهاة الطبقات بعضها ببعض ، فيمكن مثلاً أن تكون مجموعة من الطبقات الحيوية مميزة في مكان ما بأنها شديدة التجعد والتأثر بالطيات وذلك يساعد علي معرفتها ويمكن أيضاً أن تكون بعض الطبقات الرملية مميزة بوجودها فوق سطح واضح من عدم التوافق أو أن تكون هذه الطبقات الرملية مميزة بنوع من التداخل الناري وتساعد تلك الصفات البنائية علي تعيين هذه الطبقات وعلي مضاهاتها.
6. التتابع الإستراتجرافي *Stratigraphic Sequence* : يمكن مضاهاة الطبقات في منطقتين مختلفتين إذا وجدت هذه الطبقات علي هيئة تتابع غير عادي أو ملحوظ ، فمثلاً إذا وجد تتابع مكون من طفل أسود وحجر جيري أخضر وطفح بركاني يتبعه كنجلوميرات غليظ في مكانين مختلفين يعتبر ذلك دليلاً علي تطابق الصخور في المكانين من ناحية الزمن الجيولوجي.

ثانياً : المضاهاة الآحفورية *Biostratigraphy Correlation* ◄ الآحافير هي ما تتضمنه الصخور الرسوبية من بقايا متحجرة لنباتات أو حيوانات عاشت في الماضي أثناء تكون الصخر الذي يحتويها ، حيث يعتمد هذا النوع من المضاهاة علي تشابه المحتوي الإحفوري داخل الصخر ، حيث أن وجود نوع من الحفريات في الطبقة الصخرية علي مسافات بعيدة يعد دليلاً علي أن هذه الطبقات تكونت في نفس الفترة الزمنية بغض النظر عن الإختلافات في التركيب المعدني والخصائص الفيزيائية.

ثالثاً : المضاهاة الزمنية *Chronostratigraphy Correlation* ◄ يعتمد هذا النوع من المضاهاة علي زمن ترسيب الطبقة ، ويمكن تعريف هذا النوع بأنه عبارة عن مقارنة بين قطاعات جيولوجية طبقاً لزمن ترسيب الطبقات.



بيئات الترسيب Sedimentary Environments

البيئة الرسوبية عبارة عن المكان الذي يتجمع فيه الرواسب ، وتختلف البيئات الرسوبية في أحجامها طبقاً لمتغيرات كثيرة منها داخلية تتعلق بمكان البيئة نفسها ومنها خارجية تتعلق بالمناخ ، وتُقسم البيئات الرسوبية طبقاً لمكان تواجدها إلي ثلاث أنواع :-

أولاً : البيئات القارية *Continental Environments* ◄ تستعمل عبارة البيئة القارية للدلآلة علي كافة الترسيبات التي تحدث في مناطق تقع فوق مستوى سطح البحر لكي نميزها عن الترسيبات البحرية ، وتقسم هذه البيئة إلي الأنواع التالية :-

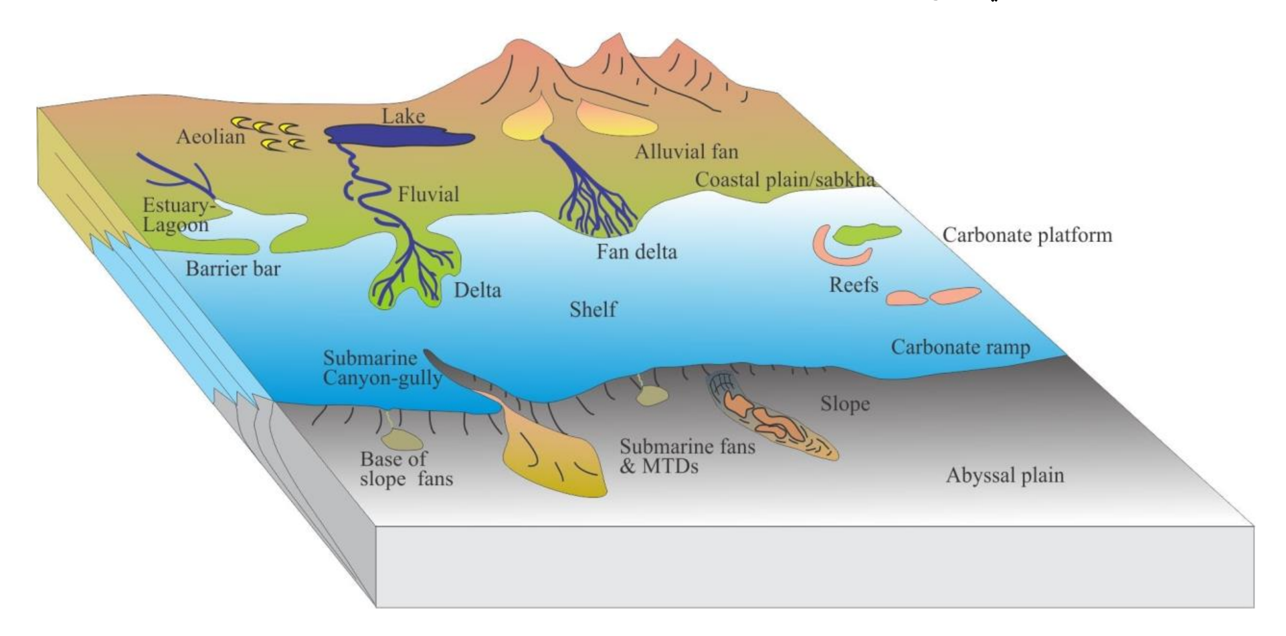
a. المراوح الركامية *Alluvial Fans*
b. البيئة الترسيبية النهرية *Fluvial Environment*
c. البيئة الترسيبية البحيرية *Lacustrine Environment*
d. البيئة الترسيبية الصحراوية *Aeolian Environment*
e. البيئة الترسيبية الثلجية *Glacial Environment*

ثانياً : البيئات البحرية *Marine Environments* ◄ وهي البيئات التي تحدث في البحار أو المحيطات المفتوحة ، ويمكن تقسيم البيئات البحرية إلي عدة مناطق من حيث عمق المياه وطبيعة أنحدار القاع وهي كما يلى :-

1. المنطقة الشاطئية أو الساحلية أو منطقة المد والجزر ◄ تمتد من خط الشاطئ وحتي عمق 50 متر ، وتعتبر من أكثر المناطق التي تتميز بالضوء الجيد والأكسجين والغذاء ، ومن ثم وفرة الكائنات النباتية وبالتالي تكثر فيها الحيوانات التي تتغذى علي تلك النباتات ، وتحتوي هذه المنطقة علي رواسب الجلاميد والحصي والرمال.
2. المنطقة البحرية الضحلة (*Continental Shelf*) ◄ تمتد من عمق 50 متر وحتي 200 متر ، وتتطابق مع منطقة الرف القاري من حيث أنحدار قاع البحر ، وهي منطقة غنية بالضوء والغذاء تحتوي علي رواسب الحصي والرمال والطين.
3. المنطقة البحرية العميقة (*Continental Slope*) ◄ تمتد من عمق 200 متر وحتي عمق 2000 متر ، وتغطى منطقة المنحدر القاري الفاصل بين أعماق المحيطات ورصيف القارات ، وتقل فيها الكائنات بشكل ملحوظ ؛ وذلك لعدم توافر أسباب الحياة من ضوء وغذاء ، وتحتوي هذه المنطقة علي رواسب طينية دقيقة الحبيبات وبقايا عضوية مثل الدياتومات والفورامنيفرا والراديولاريا.

4. منطقة الآعماق السحيقة (*Abyssal Zone*) ◄ تمتد في قيعان المحيطات التي يزيد عمقها عن 2000 متر ، وتندر فيها الكائنات حيث لآ يتواجد إلا نوعيات معينة من الآسماك ذات صفات خاصة تؤهلها للمعيشة تحت ظروف بيئية شديدة الصعوبة ، وتحتوي علي رواسب بركانية مثل الطين الآحمر وبقايا عضوية مثل الدياتومات والفورامنيفرا.

ثالثاً : البيئات الإنتقالية *Transitional Environment* ◄ وهي البيئات التي توجد في أو بالقرب من المناطق الإنتقالية بين البحر واليابسة ، وتقسم هذه البيئات إلي أنواع متعددة أهمها رواسب الدلتا **Deltas** ورواسب الحواجز الرملية **Sand Barriers**.



بيئات ترسيب أشهر الصخور الرسوبية

Rock Name	*Environment of deposition*
Conglomerate, Breccia, Grit	*Continental*
Coal	*Continental*
Phosphate	*Shallow Marine*
Sandstone	*Shallow Marine*
Siltstone	*Shallow Marine*
Clay	*Shallow Marine*
Shale	*Shallow, Slightly deep Marine*
Marl, Limestone, Chalky Limestone	*Deep Marine*

ماذا يحدث :-

- ✓ إذا تحولت بيئة الترسيب في منطقة ما من بيئة بحرية إلي بيئة قارية ترتفع المنطقة ويتراجع البحر وتصبح المنطقة تحت ظروف ترسيبية قارية ،، أما إذا تحولت بيئة الترسيب من بيئة قارية إلي بيئة بحرية تنحسر المنطقة ويتقدم البحر وتصبح المنطقة تحت ظروف ترسيبية بحرية.
- ✓ إذا تحولت بيئة الترسيب من بيئة بحرية ضحلة إلي بيئة بحرية عميقة تنحسر المنطقة وتصبح المنطقة تحت ظروف ترسيبية بحرية عميقة ،، أما إذا تحولت بيئة الترسيب من بيئة بحرية عميقة إلي بيئة بحرية ضحلة ترتفع المنطقة وتصبح المنطقة تحت ظروف ترسيبية بحرية ضحلة.

فروع علم الطبقات

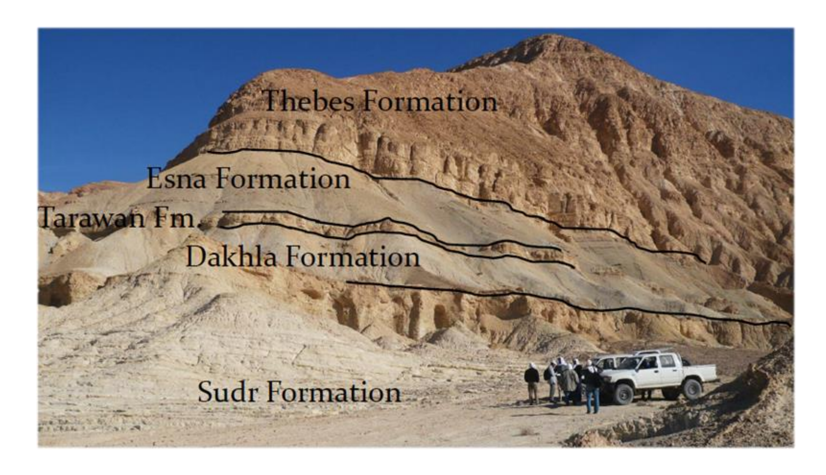
أولاً : الطباقية الصخرية ***Lithostratigraphy***

هو العلم الذي يهتم بدراسة الرواسب والصخور وتقسيمها ومضاهاتها وتفسيرها إعتماداً علي المكونات الصخرية ، ويعد هذا العلم مجال مهم جداً حيث يساعدنا علي فهم تكوين وهيكل القشرة الآرضية والعمليات التي شكلتها.

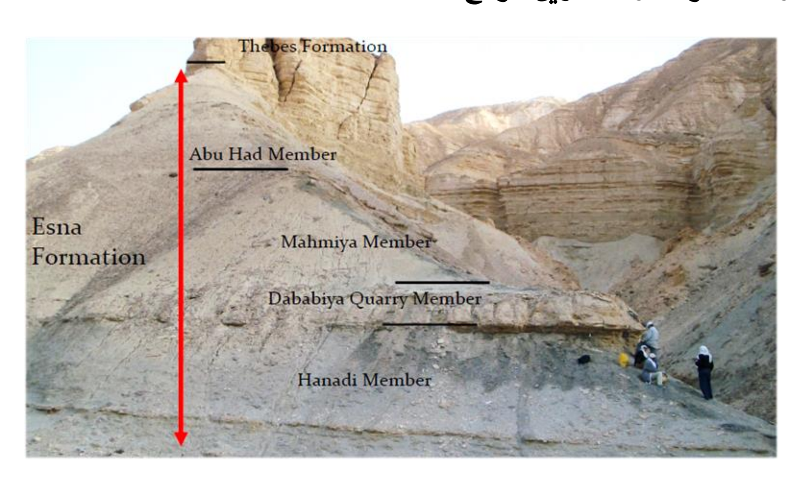
الوحدات الطباقية الصخرية Lithostratigraphy Units

لمعرفة التاريخ الجيولوجي لمنطقة ما ، يجب وصف الصخور البارزة في هذه المنطقة وحتي نتمكن من وصف تتابع الطبقات نحتاج إلي تجزئتها إلي أقسام وأصناف بطريقة علمية ، والوحدات الأساسية المستعملة في تصنيف تطبق الصخور هي الوحدات الطباقية الصخرية وهي عبارة عن مجموعة من طبقات الصخور يوحد فيما بينها خصائص صخرية معينة تتميز بها عن الطبقات المجاورة.

1. **التكوين *Formation* ◄ عبارة عن الوحدة الطباقية الصخرية الأساسية التي يمكن تحديدها من خلال :-**
   a. **التكوين الصخري *Lithological Characteristics* : يجب أن يكون التكوين علي درجة عالية من التجانس الصخري ولآبد أن يكون متشابه في التركيب الكيميائي أو المعدني أو النسيج أو المحتوي الإحفوري.**
   b. **الوضع الطبقي *Stratigraphical position* : عبارة عن سمك وإمتداد التكوين ، فلآبد أن يكون سمك التكوين يتراوح بين عدة أمتار وحتي آلاف الأمتار ، ولآبد أن يكون له إمتداد أفقي كبير يصل إلي عدة كيلومترات.**



2. **العضو *Member* ◄ عبارة عن وحدة طباقية صخرية أصغر من التكوين ، حيث يمكن تقسيم التكوين الواحد إلي مجموعة من الأعضاء ، ومن شروط إنقسام التكوين إلي أعضاء هو أن تكون حدود العضو ضمن حدود التكوين نفسه ، فلآ يمكن أن تتجاوز حدود العضو حدود التكوين الواقع ضمنه.**



3. الطبقة ***Bed*** ◄ عبارة عن أصغر وحدة طباقية صخرية رسوبية توجد داخل عضو أو تكوين ويتراوح سمكها بين متر واحد إلي عدة أمتار ، وعادةً ما تتميز الطبقة الواحدة بصفات صخرية تميزها عن الطبقات التي تعلوها أو تسفلها.

س . ما الفرق بين مصطلح الطبقة والسريان ؟

A. الطبقة ***Bed*** : عبارة عن أصغر وحدة صخرية رسوبية.
B. السريان ***Flow*** : عبارة عن أصغر وحدة صخرية متحولة أو نارية ناتجة من الطفوح البركانية.

4. المجموعة ***Group*** ◄ عبارة عن وحدة طباقية تتكون من تكوينين أو أكثر تجمعهم خصائص صخرية متشابهة.
5. فوق المجموعة ***Supergroup*** ◄ عبارة عن وحدة طباقية تتكون من مجموعتين أو أكثر تجمعهم خصائص صخرية متشابهة ، ويمكن تقسيم فوق المجموعة إلي عدة مجاميع ثانوية تسمي تحت مجموعة ***Subgroup***.
6. المعقد ***Complex*** ◄ عبارة عن وحدة طباقية تتكون من مجموعة متنوعة من الصخور الرسوبية والنارية والمتحولة.

ثانيـاً : الطباقية الحيوية ***Biostratigraphy***

هو العلم الذي يتعامل مع توزيع الحفريات في تسلسل صخري وتنظيم الطبقات إلي وحدات مميزة بناءً علي الحفريات الموجودة فيها ويعد هذا العلم أداة مهمة لتأريخ الصخور وفهم تطور الحياة علي الآرض.

الوحدات الطباقية الحيوية Biostratigraphy Units

التصنيف الطبقي الحيوي هو التقسيم المنهجي وتنظيم تسلسل الصخور إلي وحدات مسماة علي أساس الحفريات الموجودة في الصخور ، حيث أن المبدأ الآساسي لعلم طبقات الآرض هو أن التغيرات التطورية في الكائنات الحية غير قابلة للعكس ، وبالتالي فإن الحفريات الموجودة خلال فترة زمنية هي مميزة فقط لتلك الفترة المحددة ولآ يمكن أن تتكرر في أي وقت آخر ، وبناءً علي ذلك ، بناءً علي وجود الحفريات المميزة ، يتم تقسيم الطبقات إلي مناطق طبقية حيوية أو مناطق حيوية مختلفة *Biozone* ، ومن المهم ملاحظة أن المناطق الحيوية تشكل الوحدات الأساسية للتصنيف الطبقي الحيوي.

وعلي هذا يمكن تعريف المنطقة الطبقية الحيوية علي إنها طبقة واحدة أو مجموعة من الطبقات يتم تحديدها أو تمييزها علي أساس الحفريات الموجودة بها ، ويمكن تقسيم المناطق الطبقية الحيوية إلي عدة أنواع مختلفة حسب طبيعة وتوزيع الحفريات الموجودة فيها ، ومع ذلك ، هناك أربع مناطق طبقية حيوية شائعة الإستخدام :-

a. منطقة المدي ***Range Zone*** (وتسمي أيضاً ***Acrozone***).

تعتمد هذه المنطقة علي المدي الإجمالي للشكل الإحفوري ، إي الفترة ما بين ظهوره الأول وإختفائه النهائي ، فعندما تظهر أحفورة لآول مرة فإن هذا المستوي يمثل بداية هذه المنطقة وتنتهي هذه المنطقة عند مستوي تواجدها الآخير ، ولتحديد منطقة المدي يمكن إستخدام الحفريات التي لها مدي زمني قصير وأقصي قدر ممكن من التوزيع الجغرافي (الحفريات المرشدة).

b. منطقة الفاصل ***Interval Zone***.

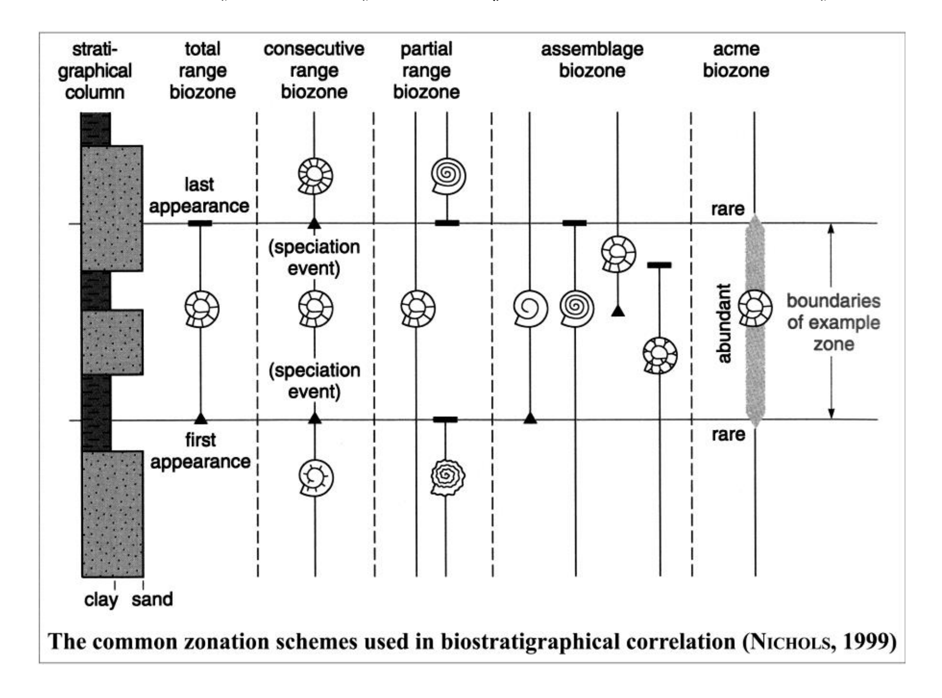
تحتوي هذه المنطقة علي جسم من التسلسل الصخري الموافق للفاصل الزمني بين أي حدثين بيولوجيين محددين ، علي سبيل المثال فاصل زمني بين حدثي إنقراض ، أو فاصل زمني بين حدثي نشاة ، أو فاصل زمني بين حدث نشاة وحدث إنقراض.

c. منطقة التجمع ***Assemblage zone*** (وتسمي أيضاً ***Cenozone***).

يتم تعريف منطقة التجمع علي أنها منطقة حيوية تتميز بترابط العديد من الأشكال الآحفورية (عادة ثلاثة أو أكثر) ، وعلي أساس الأرتباط المشترك لهذه الأشكال يمكن تحديد المنطقة وليس علي وجود شكل واحد كما في حالة منطقة المدي ، ومن الضروري أن تكون جميع الأشكال المحددة موجودة في الطبقات حتي تكون مؤهلة للإعتراف بمنطقة التجمع.

d. منطقة الوفرة *Abundance zone* (وتسمي أيضاً *Acme*).

يتم تعريف منطقة الوفرة علي أنها مجموعة من الطبقات التي تحتوي علي الحد الآقصي لعدد نوع واحد أو أكثر من الحفريات.



The common zonation schemes used in biostratigraphical correlation (Nichols, 1999)

ثالثاً : الطباقية الزمنية *Chronostratigraphy*

هو العلم الذي يـهتم بدراسة الرواسب والصخور وتقسيمها ومضاهاتها وتفسيرها إعتماداً علي وقت تكوينها والعلاقة الزمنية بين وحدات الصخور ، وهناك نوعين من التقسيمات للزمن الجيولوجي ، التقسيم الطبقي الزمني وفيه تكون الوحدات طبقات رسوبية فعلية ، والتقسيم الجيولوجي الزمني الذي تكون الوحدات فيه فترات زمنية تساوي الزمن الذي ترسبت فيه وحدات التقسيم الطبقي.

وحدات طباقية زمنية *Chronostratigraphic Units*	وحدات جيولوجية زمنية *Geochronologic Units*
صخور الدهر *Eonothem*	دهر *Eon* ↓
صخور الحقبة *Earthem*	حقبة *Era* ↓
نظام *System*	عصر *Period* ↓
سلسلة *Series*	حين *Epoch* ↓
مرحلة *Stage*	عمر *Age*

وتجدر الإشارة إلي أن الهدف الأساسي من التصنيفات الطباقية الزمنية والجيولوجية الزمنية هي ترتيب الطبقات الصخرية للآرض بشكل منهجي إلي وحدات مسماة (وحدات طباقية زمنية) والمقابلة للفترات الزمنية الجيولوجية (الوحدات الجيولوجية) ، ويُسهل هذا الترتيب الآرتباط الزمني وتحديد عمر الطبقات الصخرية ، كما أنه بمثابة نظام مرجعي لتسجيل أحداث التاريخ الجيولوجي.

Chronostratigraphic Units	*Example*	*Geochronologic Units*	*Example*
Eonothem	*Phanerozoic*	*Eon*	*Phanerozoic*
Earthem	*Mesozoic*	*Era*	*Mesozoic*
System	*Triassic*	*Period*	*Triassic*
Series	*Upper Triassic*	*Epoch*	*Late Triassic*
Stage	*Norian*	*Age*	*Norian*

رابعاً : الطباقية المغناطيسية Magnetostratigraphy

هو العلم الذي يهتم بدراسة الرواسب والصخور وتقسيمها ومضاهاتها وتفسيرها إعتماداً علي سجلات الإنعكاس المغناطيسي المخزنة داخل المعادن والرواسب الحاملة للحديد.

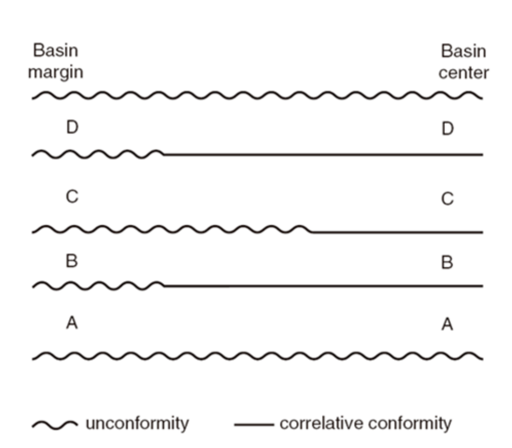
خامساً : الطباقية الزلزالية Seismic Stratigraphy

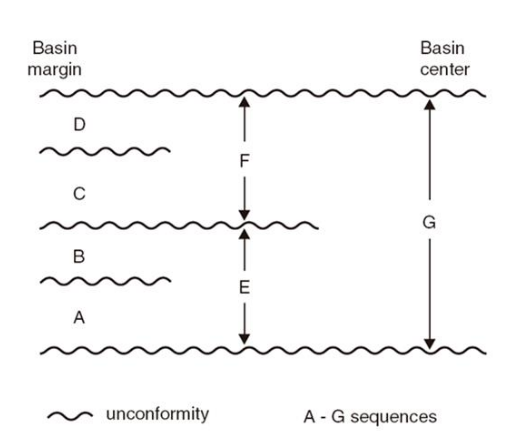
هو العلم الذي يهتم بدراسة الرواسب والصخور وتقسيمها ومضاهاتها وتفسيرها إعتماداً علي بيانات الإنعكاس الزلزالي التي تنشا عن طريق موجات زلزالية صناعية ، ويعتبر هذا العلم طريق مهم لدراسة الصخور الرسوبية علي عمق كبير تحت سطح الآرض والتي كانت مستخدمة علي نطاق واسع فقط منذ السبعينات ، وأصبح ذلك ممكناً من خلال تحليل الكمبيوتر للبيانات الزلزالية.

سادساً : التسلسل الطبقي Sequence Stratigraphy

هو العلم الذي يعمل علي تقسيم وربط الرواسب والصخور الرسوبية الموجودة في الحوض الترسيبي إلي حزم من الرواسب المحددة بأسطح عدم التوافق *Unconformities* أو ما يضاهيها من سطوح التوافق *Correlative Conformities*.

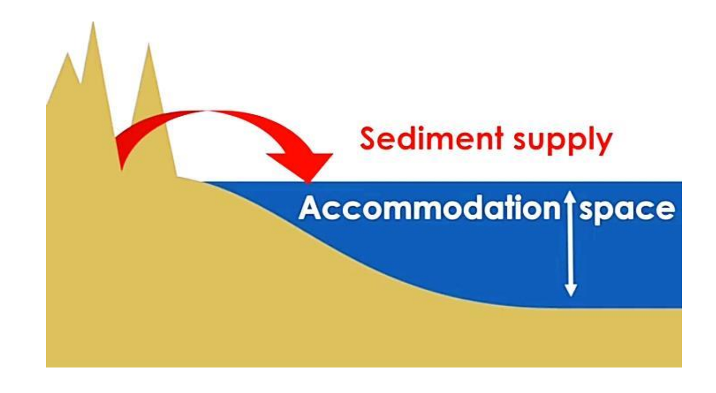
- ✓ سطوح التوافق *Correlative Conformity* : عبارة عن إمتداد لسطح عدم التوافق داخل الحوض الترسيبي.





تمثل كُل حزمة من هذه الرواسب تتابع ترسيبي واحد يتراوح في السمك بين عدة أمتار وحتي مئات الأمتار ، وقد يكون هذا التتابع عبارة عن طبقة واحدة أو أكثر ، ويتم تحديده بين سطحي عدم توافق أو ما يضاهيها من سطوح التوافق (وهذه الأسطح يطلق عليها حدود التتابع *Sequence Boundaries*) خلال فترة زمنية محددة وتحت ظروف مناخية وتكتونية معينة ، وكل تتابع يتكون علي الأقل من أربعة مسارات يطلق عليها مسارات الآنظمة *Systems Tracts* ، ومن أهم العوامل المسيطرة علي التتابع الترسيبي :-

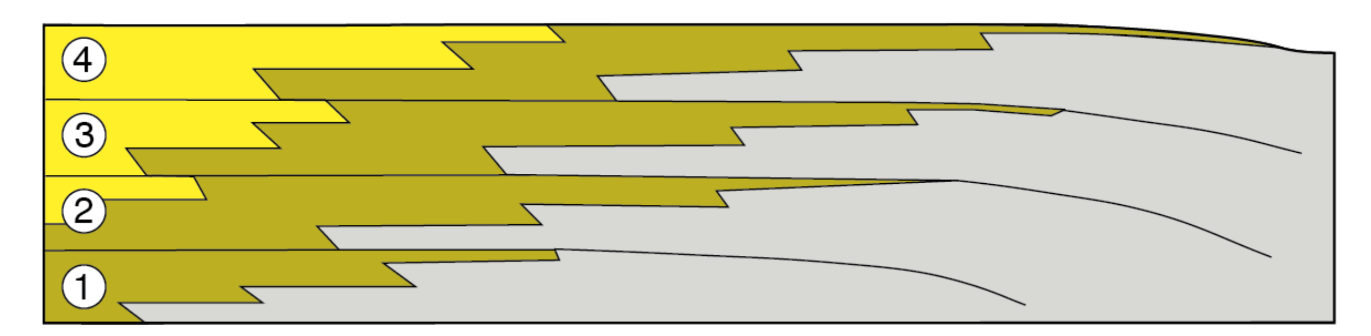
a. التغير في مستوي سطح البحر.
b. النشاط التكتوني.
c. المساحة المتاحة لتكوين الرواسب وتمتد من قاع البحر إلي مستوي سطح البحر (*Accommodation Space*).
d. المكان الذي يمدنا بالرواسب المجهزة إلي حوض الترسيب (*Sediment Supply*).



حيث تعمل العوامل السابقة علي تحديد النمط أو الشكل الذي تتجمع عليه الرواسب عند ملأها للحوض الترسيبي ، وهناك علاقة بين الإرتفاع في مستوي سطح البحر وكمية الرواسب المجهزة إلي حوض الترسيب.

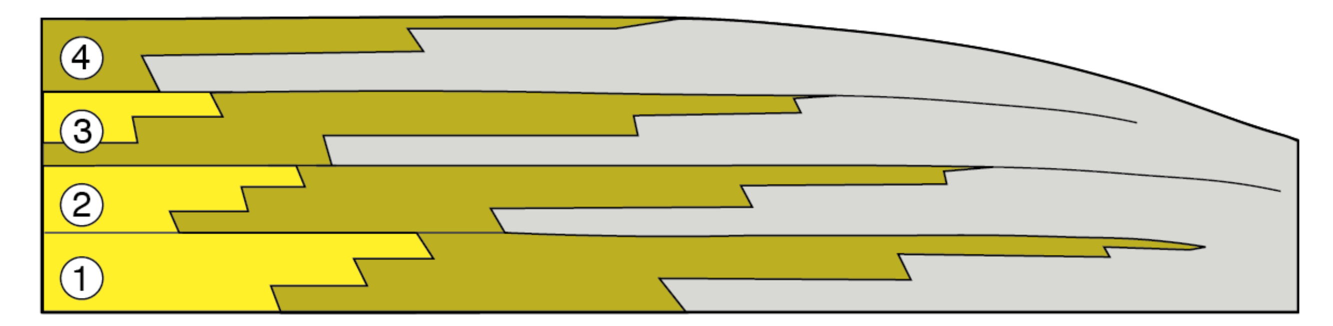
1) عندما تكون كمية الرواسب المجهزة إلي حوض الترسيب أكبر من المساحة المتاحة لتكوين الرواسب يحدث تراكم للرواسب بشكل تقدمي في إتجاه البحر ***Basin-ward*** ، ويطلق عليه التراكم التقدمي (***Progradation***).

Sediment Supply > Accommodation Space = Progradation



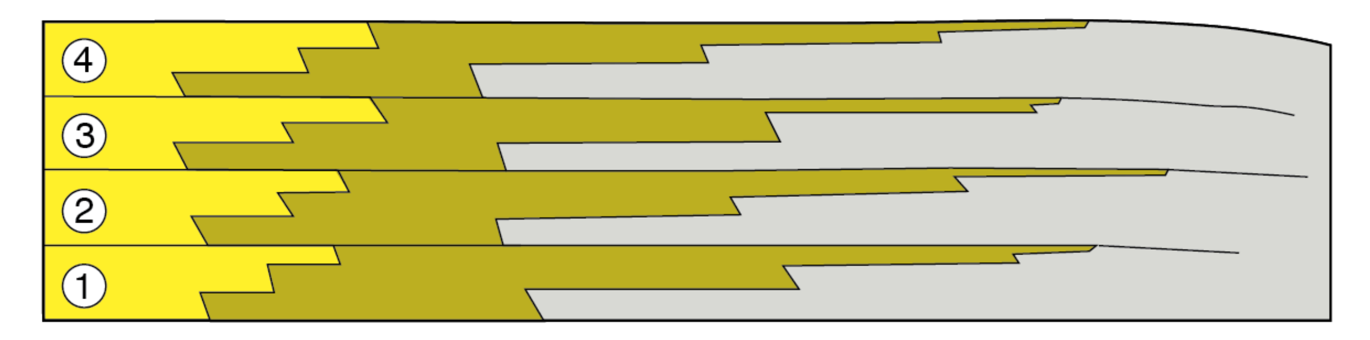
2) عندما تكون كمية الرواسب المجهزة إلي حوض الترسيب أقل من المساحة المتاحة لتكوين الرواسب يحدث تراكم للرواسب بشكل تراجعي في إتجاه اليابسة ***Land-ward*** ، ويطلق عليه التراكم التراجعي (***Retrogradation***).

Sediment Supply < Accommodation Space = Retrogradation



3) عندما تتساوي كمية الرواسب المجهزة إلي حوض الترسيب مع المساحة المتاحة لتكوين الرواسب يحدث تراكم للرواسب بشكل تكدسي أي أن الرواسب لا تهاجر بإتجاه البحر أو اليابسة ، ويطلق عليه التراكم التكدسي (***Aggradation***).

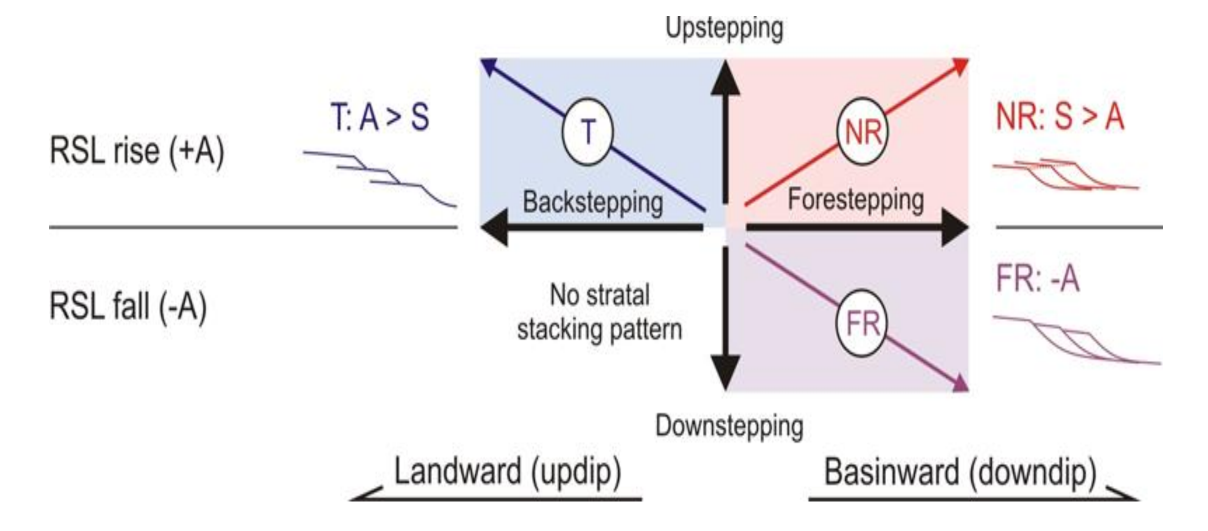
Sediment Supply = Accommodation Space = Aggradation



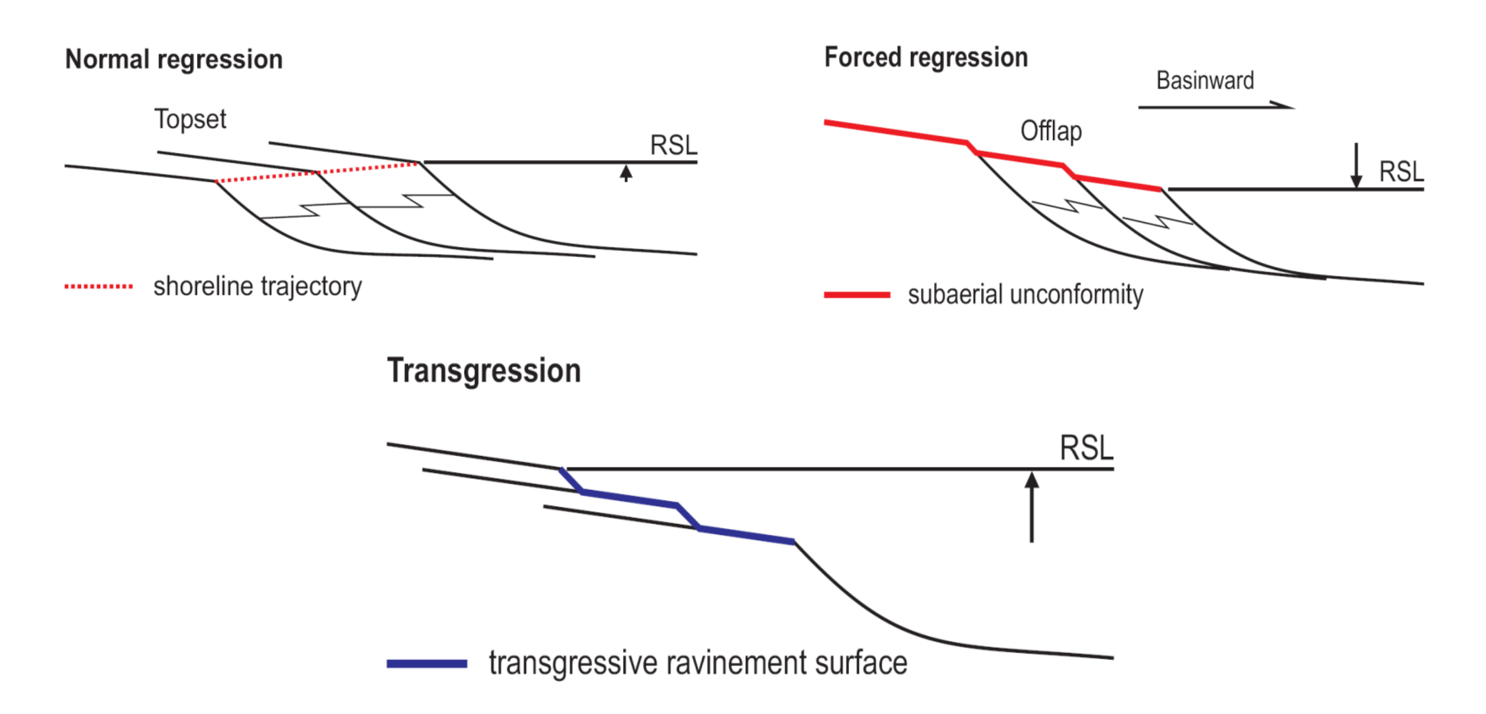
الشكل التالي يُظهر نوعين مختلفين من التراجع :-

1. التراجع الطبيعي (NR) ***Normal Regression*** ◄ هذا التراجع بطئ ويصاحبه إرتفاع في مستوي سطح البحر ولكن معدل هذا الإرتفاع (المساحة المتاحة لتكوين الرواسب) أقل بكثير من كمية الرواسب المجهزة إلي حوض الترسيب.
2. التراجع القسري (FR) ***Forced Regression*** ◄ هذا التراجع عادةً سريع ويصاحبه إنخفاض في مستوي سطح البحر ، بحيث تكون المساحة المتاحة لتكوين الرواسب أقل من كمية الرواسب المجهزة إلي حوض الترسيب مما يؤدي إلي تراكم الرواسب في المقام الآول في البيئة البحرية ، حيث أن البيئة القارية التي يتم التحكم فيها عند مجري النهر تَكون عرضه للتأكل وعوامل التعرية.

والتجاوز *Transgression* عبارة عن طيغان الماء وتقدمه بشدة ، بحيث تكون المساحة المتاحة لتكوين الرواسب أكبر من كمية الرواسب المجهزة إلي حوض الترسيب مما يؤدي إلي تراكم الرواسب في إتجاه اليابسة.



صور توضيحية



مسارات الآنظمة Systems Tracts

1. مسار أنظمة مرحلة الإنهيار ***Falling Stage Systems Tract***

في هذا المسار يحدث إنهيار وتراجع يصاحبه إنخفاض في مستوي سطح البحر (***Forced regression***) ، ومما سبق دراسته يمكن القول بأنه عند تراجع البحر فتكون كمية الرواسب المجهزة إلي حوض الترسيب أكبر من المساحة المتاحة لتكوين الرواسب مما يؤدي إلي تراكم الرواسب في المقام الآول في البيئة البحرية.

Falling Stage Systems Tract → Forced regression → Progradation

2. مسار الآنظمة المنخفضة ***Lowstand Systems Tract***

في هذا المسار يرتفع مستوي سطح البحر بشكل بطئ ولكن معدل إرتفاع مستوي سطح البحر أقل من كمية الرواسب المجهزة إلي حوض الترسيب (***Normal regression***) مما يؤدي إلي تراكم الرواسب بشكل تقدمي في إتجاه البحر.

Lowstand Systems Tract → Normal regression → Progradational To Aggradational

3. مسار الآنظمة المتجاوزة ***Transgressive Systems Tract***

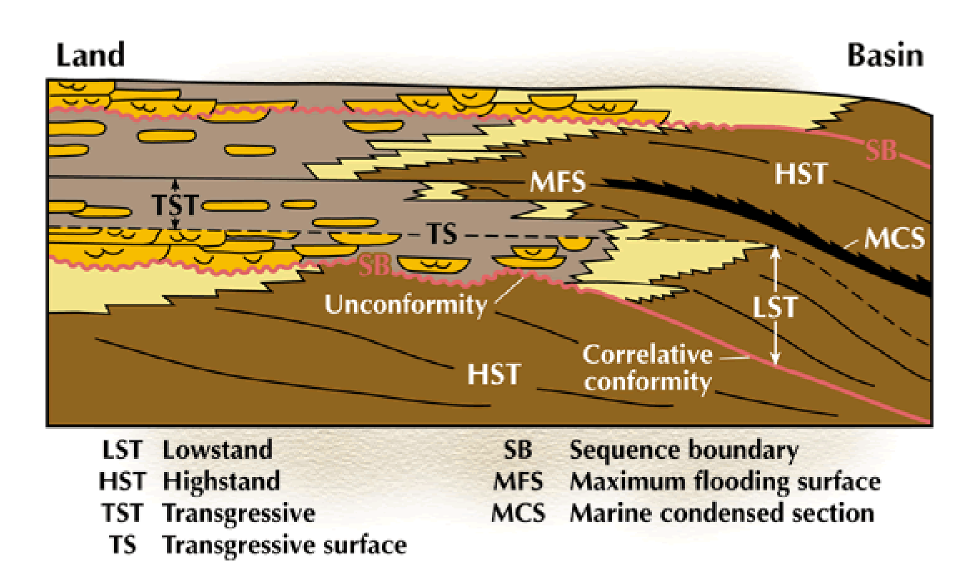
في هذا المسار يرتفع مستوي سطح البحر بشدة بحيث يكون معدل إرتفاع مستوي سطح البحر أكبر من كمية الرواسب المجهزة إلي حوض الترسيب (***Transgression***) مما يؤدي إلي تراكم الرواسب بشكل تراجعي في إتجاه اليابسة.

Transgressive Systems Tract → Transgressive → Retrogradation

4. مسار الآنظمة المرتفعة ***Highstand Systems Tract***

في هذا المسار يرتفع مستوي سطح البحر ولكن معدل إرتفاع مستوي سطح البحر أقل من كمية الرواسب المجهزة إلي حوض الترسيب (***Normal regression***) مما يؤدي إلي تراكم الرواسب بشكل تقدمي في إتجاه البحر.

Highstand Systems Tract → Normal regression → Aggradational To Progradational



علم التربة

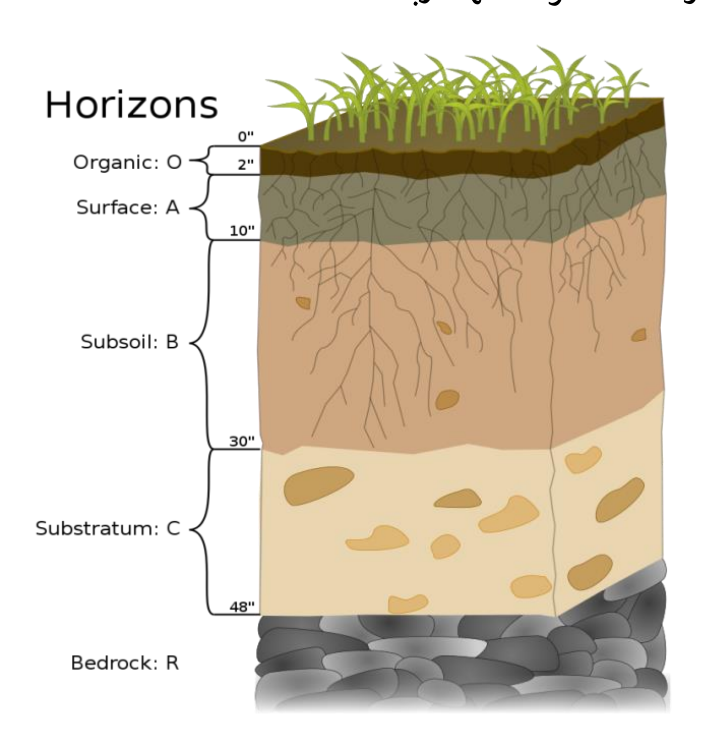
التربة SOIL

تُعرف التربة بأنها مزيج من مواد معدنية (حيث أن المواد المعدنية ناتجة من تفتيت الصخر ، وتحتوي التربة على عدة معادن منها الكوارتز والفلسبارات والكاولينايت وكميات قليلة من البوتاسيوم والفوسفور والكالسيوم) ومواد عضوية (حيث أن المواد العضوية جعلتها صالحة للزراعة ، وتتكون التربة من مواد عضوية تختلف في مراحل تحللها كجذور النباتات والديدان والميكروبات والثدييات الصغيرة والحشرات) والماء (يُعتبر الماء من مكونات التربة الأساسية ، فهو يعمل علي ذوبان العناصر الغذائية والمعادن الموجودة في التربة) والهواء (يدخل الهواء في مسامات التربة الكبيرة بدل الماء الذي يتسرب فيها ، حيث تعيش العديد من عضويات التربة في التربة التي تحتوي على نسبة متساوية من الهواء والماء) ، وتتفاعل مكونات هذا المزيج مع بعضها البعض بطرق متعددة ، وهذا يجعل التربة واحدة من أكثر الموارد الطبيعية ديناميكية وأهمية لكوكب الآرض ؛ لأنها قابلة للتجديد ولكن بشكل بطيء قد يصل إلي مئات الأعوام ، فمن الممكن أن يستغرق 2 سم من التربة السطحية مئات السنين لتطويرها.

وينظر كل شخص إلي التربة حسب إستخدامه لها ، فالمهندس ينظر إليها علي أنها مادة تُبنى عليها ، وينظر الدبلوماسي إلي التربة علي أنها أراضي الدولة ، بينما ينظر عالم التربة إليها علي أنها السطح المعدنى (أو / و) الطبقة العضوية للأرض التي تعرضت لدرجة معينة من التجوية الميكانيكية أو الكيميائية ، والتربة بشكل عام لها أهمية كبيرة من الناحية الزراعية ومدي جودة التربة وصلاحيتها للزراعة وكذلك أيضاً من الناحية الهندسية ومدي ملاءمة التربة وخواصها الفيزيائية للإنشاءات الهندسية.

أجزاء التربة الناضجة ◂ تكونت التربة الناضجة في فترة زمنية طويلة ، وهذه التربة تتكون من ثلاث نطاقات رئيسية :-

1. نطاق سطح التربة (النطاق العلوي) : عبارة عن نطاق الترشيح حيث يقوم الماء بإزالة الأملاح والمواد الطينية الدقيقة من هذا النطاق وترشيحها إلي أسفل ، ويتميز هذا النطاق بوفرة المواد العضوية التي تجعل التربة صالحة للزراعة.
2. نطاق تحت سطح التربة (النطاق الأوسط) : عبارة عن النطاق الذي ترسبت فيه الأملاح والمواد الطينية التي ترشحت من النطاق العلوي ، ويتميز هذا النطاق بإحتوائه علي رواسب معدنية ثانوية وغاز الأكسجين.
3. نطاق منطقة فوق الصخر الأصلي (النطاق السفلي) : عبارة عن نطاق تجوية الصخر الأصلي ، حيث يتكون هذا النطاق من مواد صخرية متماسكة أو مفككة تكونت منها التربة.



تصنيف التربة ◄ يمكن تصنيف التربة من حيث النشاة إلي نوعين وهما كالتالي :-

1) التربة الموضعية ***Residual Soil*** : عبارة عن التربة التي تكونت فى مكانها من نفس الصخر الذي يقع أسفلها ؛ لذلك تتشابه مع الصخر الأصلي فى التركيب الكيميائي والمعدني ، وتتميز بتدرج النسيج حتي تصل إلي الصخر الأصلي ، فنجد أن الصخر الأصلي تعلوه منطقة تشقق وتكسير ثم منطقة جلاميد ثم حصي حاد الزوايا (البريشيا) ثم تراب خشن ثم التربة السطحية.
2) التربة المنقولة ***Transported Soil*** : عبارة عن التربة التي تفككت فى مكان ثم إنتقلت إلي مكانها الحالي بواسطة عوامل النقل ؛ لذلك تختلف في التركيب الكيميائي والمعدني عن الصخر الذي يقع أسفلها ، ولا يوجد تدرج في نسيجها بل يوجد بها الحصي المستدير (الكنجلوميرات) ، وهي دائمة التعرض لعوامل التعرية والنقل المختلفة.

أشهر أنواع التربة

أولاً : التربة الرملية ***Sandy Soil***

تعرف التربة الرملية بإسم التربة الخفيفة نظراً لأرتفاع نسبة الرمال وقلة نسبة الطين فيها ، وهي تربة تتكون من جزيئات صغيرة ناتجة من تفتت الصخور مثل الجرانيت والحجر الجيري والكوارتز ، وتوصف التربة الرملية بأنها أفقر أنواع التربة لزراعة النباتات ؛ لذلك يصعب علي جذور النباتات أمتصاص الماء بسبب النفاذية العالية ونقص العناصر الغذائية فيها.

ثانياً : التربة الرملية الحصوية ***Gravel Sandy Soil***

تعتبر التربة المتكونة من الرمل والحصي من أفضل أنواع التربة المستخدمة للبناء ، حيث تعمل علي دعم الأساسات القوية وذلك بسبب توافر الجزيئات الكبيرة بها والخالية من الصخور اللينة ، فهذا النوع من التربة يتميز بالصلابة فضلاً عن جزيئاته الغير متساوية التي تسمح بمرور الرطوبة من خلال التربة ، بالإضافة إلي معدل منخفض من الإحتفاظ بالمياه مما يجعل هذه التربة مناسبة أكثر إن تم ضغط الرمل لجعله أقوى وأكثر مثالية للبناء ، ومع ذلك يجب مراعاة منسوب المياه في المنطقة المختارة ، فإن كان منسوب المياه مرتفع يجب تجنب الحفر العميق في هذه التربة مع العمل علي ضغط الطبقات العليا من التربة قبل وضع الخرسانة.

ثالثاً : التربة الصخرية ***Rocky Soil***

تعتبر التربة الصخرية واحدة من أنواع التربة المثالية للبناء ، ومعظم المباني المقامة على التربة الصخرية تتمتع بمتانة عالية ، وتحتوي التربة الصخرية علي أنواع مختلفة من الصخور مثل الحجر الجيري والحجر الرملي ، وتتمتع جميعها بقدرة تحمل عالية بشكل إستثنائي مما يجعلها نوعاً مناسباً من التربة لدعم المباني السكنية أو التجارية ، وقبل البدء في البناء عليك أولاً بتسوية القاعدة الصخرية للتربة وبعد ذلك يصبح الأمر أسهل بدون مواجهة مشكلات أثناء البناء ، وما يميز هذا النوع من التربة أنها غير منفذة لتصريف الماء بالإضافة إلي عدم أحتفاظها بالرطوبة مما يؤدي لعدم تمديدها أو تقلصها.

رابعاً : التربة الطينية ***Clay Soil***

تعرف التربة الطينية بإسم التربة الثقيلة حيث أنها تتكون من أكثر من 25 % من الطين ، وتظل التربة الطينية رطبة وباردة في الشتاء وتجف في الصيف ، فعندما يكون الطين رطباً يتمدد بشكل كبير ولكن عندما يجف سوف يتقلص بشكل أكبر ، وبسبب الفراغات الموجودة بين جزيئات الطين تحتوي هذه التربة علي كمية كبيرة من الماء مما يؤدي إلي توسعه وتمدده إن كان رطباً بينما يتقلص إن جف ، وهذا هو السبب في أن الطين عموماً ليس أفضل تربة لبناء مبنى سكني أو تجاري ، لذلك عند البناء علي التربة الطينية عليك وضع هذا الأمر في عين الآعتبار.

الفرق بين التربة الخفيفة والتربة الثقيلة

يشار إلي التربة الخفيفة علي إنها ذات نسيج خشن بينما يشار إلي التربة الثقيلة علي إنها ذات نسيج ناعم ، وتتميز التربة الخفيفة بأنها أسهل عند التعامل معها بينما يصعب التعامل مع التربة الثقيلة ، وتحتوي التربة الخفيفة علي المزيد من الهواء بينما تحتوي التربة الثقيلة علي هواء أقل ، والتربة الخفيفة لديها نفاذية أعلي من التربة الثقيلة ، وتحتوي التربة الخفيفة علي مواد عضوية أقل بينما التربة الثقيلة لها نشاط حيوي أكبر.

خامساً : التربة الطميية (تربة الغرين) *Silty Soil*

تحتوي تربة الطمي بشكل أساسي علي جزيئات متوسطة الحجم وناعمة تحتفظ بالرطوبة داخلها وخصوبتها عالية ، لذلك نجدها تحتفظ بالمياه بطريقة كبيرة ، بالإضافة إلي سوء تصريف المياه ، فيؤدي إمتصاصها للماء إلي كبر الجسيمات بدرجة عالية وبالتالي يؤدي ذلك إلي إضعاف الهيكل ؛ لذلك يجب القيام بالحفر في هذا النوع من التربة إلي عمق أكبر حتي الوصول إلي الطبقة المناسبة لوضع الأساس ، وتوجد هذه التربة بشكل أساسي بالقرب من الأنهار والبحيرات والمسطحات المائية الأخري ، ويتم إستخدام تربة الطمي في الأعمال الزراعية لتحسين خصوبة التربة.

سادساً : التربة الخثية *Peat Soil*

يتكون هذا النوع من التربة من مادة عضوية متحللة ذات لون أسود أو بني غامق ، وهي ذات مسامية عالية مثل التربة الطينية حيث يتمدد الخث عندما يكون رطباً ، وفي الظروف شديدة الجفاف لا يتقلص فقط ولكنه أيضاً يمثل خطر مثل حدوث حريق محتمل بالتربة نتيجة لشدة الجفاف.

سابعاً : التربة الطفيلية *Loam Soil*

عندما يتعلق الأمر بنوع التربة التي يصلح البناء عليها فقد تكون التربة الطفيلية هي الخيار الأفضل ، حيث تعد من أحسن أنواع التربة التي تصلح للبناء عموماً ، فهذه التربة عبارة عن مزيج من الطين والطمي والرمل ، وهي تربة داكنة اللون وناعمة وجافة ومتفتتة الملمس ، لذلك تعتبر أختيار رائع لدعم الأساسات والبناء نظراً لخصائصها المتوازنة بشكل متساوي ، خاصةً كيفية تعاملها مع الرطوبة بطريقة متساوية فلن تتمدد أو تتقلص بشكل عام بما يكفي لإحداث ضرر.

شروط التربة الصالحة للبناء

عند البحث عن قطعة أرض من أجل القيام بإنشاء مبنى عليها ، فيجب أن تختار أفضل أنواع التربة التي تصلح للبناء والتي تخلو من المشاكل ، ومن أجل تجنب الوقوع في أنواع التربة الغير صالحة للبناء من أنواع التربة الطينية ، والدخول في دوامة صرف آلاف الدولارات من أجل إيجاد حلول لمعالجة التربة الطينية للبناء ، فقد أحضروا لك الشروط التي تتواجد في التربة وتجعلها مثالية من أجل البناء عليها ، ومن هذه الشروط :-

1. أن تكون التربة المختارة مستقرة وقوية بما فيه الكفاية من أجل دعم حجم وأرتفاع المبني الذي تريد إنشاؤه عليها ، فإن كانت التربة غير مستقرة سيؤدي ذلك إلي سقوط المبنى أو تشققه.
2. معرفة الخصائص الفيزيائية والكيميائية للتربة والتي يتم من خلالها تحديد مدي إستقرارية وقوة هذه التربة ، وفي الغالب تكون التربة الطينية ذات هيكل متماسك وقوي مقارنة بالتربة الرملية إلا أن حجم مسامات التربة يفرق عند التخطيط الهندسي للبناء.
3. أن تكون التربة قادرة على إمتصاص مياه الآمطار لكي لآ يؤدي جريان المطر السطحي وعوامل التعرية إلي تخريب هيكل البناء ويجب أن تتمتع التربة بتوازن المواد الكيميائية بها حتي لآ تؤدي إلي تآكل وتلف مواد البناء.

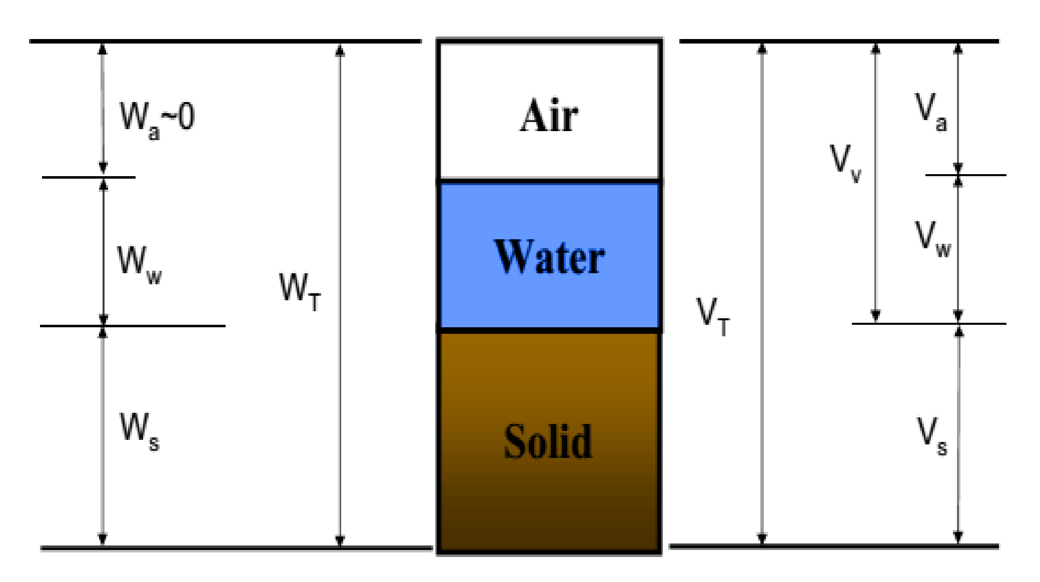
ومن أجل معرفة ما إذا كانت التربة جيدة من أجل البناء عليها أم لا ، فسوف يتم الإستعانة بعمل خرائط التربة من خلال المتخصصين في علوم التربة ، والتي سوف تعمل علي بيان مدي إنحدار سطح التربة المختارة ، ومدي قدرة التربة علي تصريف المياه أو تخزينها أو جريانها ، وبإستخدام هذه الخرائط والكشف عن صحة التربة أو المشكلات المتواجدة بها سوف يتم التمكن من معرفة أنواع التربة ذات المشاكل وطرق علاجها لكي يمكنك تجنب المشاكل المستقبلية لإنهيار أو تصدع البناء ، وهناك العديد من الحوادث والإنهيارات التي حدثت في المباني نتيجة لسوء إختيار التربة وعدم معالجتها ، ومن أشهر هذه المباني برج بيزا المائل حيث أن التربة المقام عليها هذا البرج تبدو مستقرة أثناء موسم الجفاف بينما تصبح غير مستقرة خلال موسم المطر.

وفي النهاية لآبد أن نعلم أن علماء التربة الآن علي دراية جيدة ويتعاملون مع مجموعة متنوعة من الحلول المثبتة ، حيث يمكنهم مساعدتك في أسوأ ظروف التربة وأعطاء حلول لتحسين التربة في أسوأ ظروفها مثل التربة الطينية والتربة الخثية ، فهم قادرين علي تقليل المخاطر في مواقع التربة الصعبة عن طريق مناقشة المخاطر وإظهار كيف يمكن لمجموعة متنوعة من الحلول الأساسية المبتكرة أن تساعد في التخفيف من هذه المخاطر ، حيث يصنف المهندسون (خصوصاً المهندسين الجيوتقنيين) مراحل تكون التربة وفقاً لخصائصها اللمسية والهندسية وفيما يتعلق بإستخدامها لتطوير الموقع ودعم الأساسات ، حيث تم تصميم أنظمة التصنيف الهندسي الحالية للسماح بالإنتقال السهل للملاحظات الميدانية والتنبؤات بخصائص وسلوكيات التربة الهندسية.

خصائص التربة للأغراض الإنشائية

أولاً : الخصائص الفيزيائية *Physical Properties*

عبارة عن الخصائص المتعلقة بطبيعة التربة كمحتوي الرطوبة الطبيعية فيها ، وحدود السيولة واللدونة ، وكذلك الوزن النوعي والكثافة ونسبة الفراغات ودرجة التشبع بالماء وغيرها ، ولتسهيل فهم الخصائص الفيزيائية لآبد أن نتحدث عن مكونات التربة حيث أن التربة تتكون من ثلاث مكونات أساسية وهي الحبيبات الصلبة والفراغات بين الحبيبات والماء أو الهواء أو كلاهما داخل هذه الفراغات ، وكما ذكرنا سابقاً أن التربة تكون جافة إذا كانت فراغاتها مليئة بالهواء فقط ، وتكون التربة مشبعة جزئياً بالماء إذا تقاسم الماء والهواء فراغاتها ، وتكون التربة مشبعة تماماً بالماء إذا ملأ الماء كل فراغاتها ، وقد أطلق العالم الروسي نيكولاي تسمية التربة ثلاثية المراحل علي التربة التي تحتوي علي الماء والهواء إضافة إلي الحبيبات الصلبة ، والتربة ثنائية المراحل علي تلك التي تتكون من إثنين من المكونات الأساسية فقط (حبيبات صلبة وماء أو حبيبات صلبة وهواء).



أهم الخصائص الفيزيائية للتربة

1. محتوي الرطوبة ***Moisture Content*** : عبارة عن النسبة بين وزن الماء في فراغات التربة إلي وزن الحبيبات الصلبة.

$$W_c = \frac{W_w}{W_s} \times 100$$

يتم تحديد محتوي الرطوبة عن طريق تجفيف عينة من التربة (100 جم) في فرن التجفيف عند درجة حرارة (5 ± 105) لمدة 24 ساعة ومقارنة وزنها قبل وبعد عملية التجفيف.

$$\text{المحتوى المائي } (W_c) = \frac{\text{الوزن الرطب} - \text{الوزن الجاف}}{\text{الوزن الجاف}} \times 100$$

2. محتوي الهواء ***Air Content*** : عبارة عن النسبة بين حجم الهواء في فراغات التربة إلي الحجم الكلي للتربة.

$$A_c = \frac{V_A}{V_T}$$

3. درجة التشبع ***Degree of saturation*** : عبارة عن النسبة بين حجم الماء في فراغات التربة إلي الحجم الكلي للفراغات.

$$S_r = \frac{V_w}{V_v} \times 100$$

4. الكثافة ***Density*** : عبارة عن النسبة بين كتلة التربة إلي حجمها ، وتقاس الكثافة بوحدة (Kg / M^3) أو (gm / Cm^3).

وتنقسم الكثافة إلي نوعين :-

- ✓ الكثافة الكلية ***Bulk Density*** : عبارة عن النسبة بين الكتلة الكلية للتربة إلي حجمها الكلي.

$$y_b = \frac{M_T}{V_T}$$

- ✓ الكثافة الجافة ***Dry Density*** : عبارة عن النسبة بين كتلة التربة وهي خالية من الماء إلي حجمها الكلي.

$$y_d = \frac{M_s}{V_T}$$

5. وزن وحدة الحجم ***Unit Weight*** : عبارة عن النسبة بين الوزن الكلي إلي الحجم الكلي للتربة وهي في حالتها الطبيعية.

$$Y = \frac{W_T}{V_T}$$

6. الوزن النوعي للحبيبات الصلبة ***Specific Gravity of soild particles*** : عبارة عن النسبة بين وحدة وزن الحبيبات الصلبة للتربة إلي وحدة وزن الماء المقطر عند 4 درجات مئوية. (تتراوح قيمة الوزن النوعي بين 2.6 - 2.8).

$$G_s = \frac{Y_s}{Y_w} = \frac{W_s}{V_s\, Y_w}$$

7. نسبة الفراغات *Voids Ratio* : عبارة عن النسبة بين حجم الفراغات الموجودة في التربة إلي حجم الحبيبات الصلبة.

$$e = \frac{V_v}{V_s}$$

8. المسامية *Porosity* : عبارة عن النسبة بين حجم الفراغات الموجودة في التربة إلي الحجم الكلي للتربة.

$$n = \frac{V_v}{V_T}$$

والمسامية (n) دائماً أقل من الواحد الصحيح لأنها إذا كانت تساوي الواحد الصحيح فمعنى هذا أن التربة لا تحتوي علي أي مواد صلبة ، أما نسبة الفراغات (e) فقد تكون أكبر أو أصغر من الواحد الصحيح ، وترتبط المسامية مع نسبة الفراغات بالعلاقة التالية :-

$$e = \frac{n}{1-n} \qquad n = \frac{e}{1+e}$$

9. الكثافة النسبية *Relative Density* : تستخدم الكثافة النسبية لوصف حالة التربة المفككة مثل الرمل ومدي صلاحيتها للإستخدام ، ويتم ذلك من خلال نسبة الفراغات الطبيعية لتربة الموقع ومقارنتها بنسبة الفراغات القصوى والدنيا التي يتم تحديدها في المعمل ، وتوضح الكثافة النسبية بالعلاقة التالية :-

$$D_R = \frac{e_{max} - e}{e_{max} - e_{min}} \times 100$$

✍ e : نسبة الفراغات الطبيعية للتربة.
✍ e_{max} : نسبة الفراغات للتربة في حالتها الكثيفة تماماً.
✍ e_{min} : نسبة الفراغات للتربة في حالتها السائبة تماماً.

" الجدول التالي يبين حالة التربة من حيث كثافة حبيباتها ومقارنتها بكثافتها النسبية "

الكثافة النسبية (%)	وصف التربة
% 15 : 0	مفككة جداً *Very Loose*
% 35 : 16	مفككة *Loose*
% 65 : 36	متوسطة الكثافة *Medium*
% 85 : 66	كثيفة *Dense*
% 100 : 86	كثيفة جداً *Very Dense*

مسألة مهمة[1] :: إذا كانت الكثافة الرطبة لعينة من التربة تساوي $1.97\ gm/cm^3$ ، وكان المحتوى المائي لها 20 % ووزنها النوعي 2.65 ، فأحسب ما يلي :-

1. نسبة الفراغات *Voids Ratio*
2. درجة التشبع *Degree of saturation*

ملحوظة هامة جداً قبل حل هذا النوع من المسائل :-

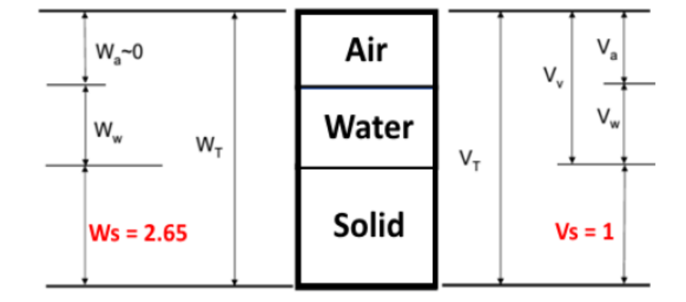
- ✓ لو مش معطي في المسالة أي حجوم يبقي نفرض أن $V_s = 1$.
- ✓ بنفرض أن كثافة الماء (y_w) = $1\ gm/cm^3 = 10\ KN/m^3$ علي حسب وحدات المسالة.
- ✓ لو فرضت أن كثافة الماء تساوي واحد ، أذن حجم الماء يساوي وزن الماء.

حل المسألة

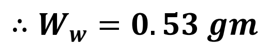
$\because G_s = 2.65$ $\qquad \because W_c = 20\ \% = 0.2$ $\qquad \because y_b = 1.79\ gm/Cm^3$

$\because G_s = \dfrac{Y_s}{Y_w} \rightarrow \quad \therefore 2.65 = \dfrac{Y_s}{1} \rightarrow \quad \therefore Y_s = 2.65\ gm/Cm^3$

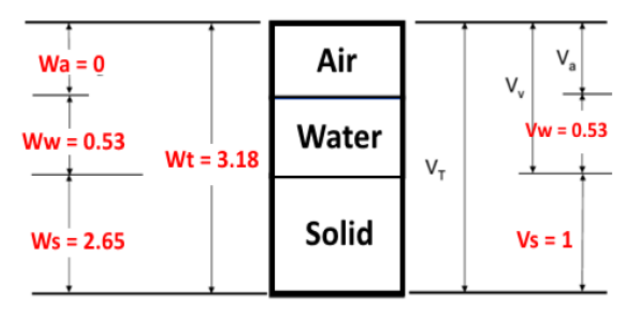
$\because Y_s = \dfrac{W_s}{V_s} \rightarrow \quad \therefore 2.65 = \dfrac{W_s}{1} \rightarrow \quad \therefore W_s = 2.65\ gm$



$\because W_c = \dfrac{W_w}{W_s} \rightarrow \quad \therefore 0.2 = \dfrac{W_w}{2.65} \rightarrow$



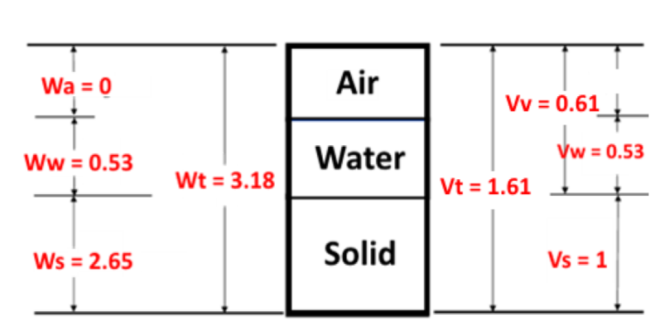
$\therefore W_w = 0.53\ gm$



$\because y_b = \dfrac{M_T}{V_T} \rightarrow \quad \therefore 1.79 = \dfrac{3.18}{V_T} \rightarrow \quad \therefore V_T = 1.61\ Cm^3$

$$\therefore V_v = V_T - V_s = 1.61 - 1 = 0.61\ Cm^3$$

$$\therefore V_a = V_v - V_w = 0.61 - 0.53 = 0.08\ Cm^3$$



✍ يمكنك إستخدام المعادلة التالية لإيجاد نسبة الفراغات :-

$$\therefore e = \frac{V_v}{V_s} = \frac{0.61}{1} = 0.61 \rightarrow (1)$$

✍ يمكنك إستخدام المعادلة التالية لإيجاد درجة التشبع :-

$$\therefore S_r = \frac{V_w}{V_v} \times 100 = \frac{0.53}{0.61} \times 100 = 86.9\,\% \rightarrow (2)$$

مسألة مهمة[2] :: عينة من التربة حجمها $65\ Cm^3$ وتزن 120 جرام في حالتها الرطبة و 105 جرام في الحالة الجافة ووزنها النوعي 2.65 ، فأحسب ما يلي :-

1. المحتوى المائي (W_c)
2. وحدة الوزن الجافة (Y_d)
3. المسامية (n)
4. نسبة الفراغات (e)
5. درجة التشبع (S_r)

حل المسألة

1. المحتوى المائي (W_c) : عندما يتم تسخين العينة في الفرن فإن النقص في وزن العينة يمثل وزن الماء الذي كان موجود بها وتبخر نتيجة الحرارة ، وبالتالي فإن :-

$$W_w = W_T - W_s = 120 - 105 = 15\ gm$$

✍ وبذلك يمكن إستخدام المعادلة التالية لإيجاد المحتوى المائي :-

$$W_c = \frac{W_w}{W_s} \times 100 = \frac{15}{105} \times 100 = 14.29\,\% \rightarrow (1)$$

2. وحدة الوزن الجافة (Y_d)

$$Y_d = \frac{W_s}{V_T} = \frac{105}{65} = 1.62\ gm/cm^3 \rightarrow (2)$$

3. المسامية (n)

$$\because G_s = \frac{Y_s}{Y_w} = \frac{W_s}{V_s\, y_w}$$

$$\therefore V_s = \frac{W_s}{G_s\, y_w} = \frac{105}{2.65 \times 1} = 39.62\ Cm^3$$

وحيث أن الحجم الكلي لعينة التربة $65\ Cm^3$ فإن حجم الفراغات بالعينة يمكن إستنتاجه من المعادلة التالية :-

$$V_v = V_T - V_s = 65.00 - 39.62 = 25.38\ Cm^3$$

✍ وبذلك يمكن إستخدام المعادلة التالية لإيجاد المسامية :-

$$n = \frac{V_v}{V_T} = \frac{25.38}{65.00} = 0.39 \rightarrow (3)$$

4. نسبة الفراغات (e)

$$e = \frac{V_v}{V_s} = \frac{25.38}{39.62} = 0.64 \rightarrow (4)$$

5. درجة التشبع (S_r)

- تذكير :- لو فرضت أن كثافة الماء تساوي واحد ، أذن حجم الماء يساوي وزن الماء.

$\because W_w = 15\ gm \rightarrow$ $\therefore V_w = 15\ Cm^3$

✍ وبذلك يمكن إستخدام المعادلة التالية لإيجاد درجة التشبع :-

$$S_r = \frac{V_w}{V_v} \times 100 = \frac{15.00}{25.38} \times 100 = 59.10\ \% \rightarrow (5)$$

ثانياً : الخصائص الميكانيكية ***Mechanical Properties***

عبارة عن الخصائص التي تعبر عن سلوك التربة تحت تأثير الأحمال المختلفة ، فعندما تتعرض التربة لتأثير الأحمال الناتجة من وزن المبني فوقها فإنها تنضغط وتتراص حبيباتها أكثر علي حساب الفراغات الموجودة فيها وتسمي هذه العملية بالتضاغط ، وبما أن حجم الفراغات الموجودة في التربة محدود ويتناقص مع زيادة الحمل الضاغط فإن الذي يحدث عندما تتلاشي الفراغات مع إزدياد الحمل العمودي هو أن حبيبات التربة تبدأ بالإنزلاق الواحدة فوق الأخري ويحدث ما يسمي بالقص.

ومن هنا تبرز أهمية الدراسة المستفيضة لخصائص التضاغط ، وللتربة الطينية بالتحديد ، وذلك للحصول علي المعطيات اللازمة لحساب قيمة الهبوط الكلي للمبني ودراسة ظاهرة الهبوط مع الزمن ، وكذلك الحال بالنسبة لفحوصات القص التي تمكنا من الحصول علي القيم اللازمة لحساب قدرة تحمل التربة وزاوية الإحتكاك الداخلي.

وتنقسم المواد من حيث القدرة علي إسترجاع شكلها بعد زوال المؤثر إلي ثلاث أقسام :-

1) مواد تامة المرونة : وهي المواد التي تستطيع أن تسترجع شكلها الأصلي بعد زوال الإجهاد المؤثر عليها مثل المواد المطاطية.
2) مواد مرنة : وهي المواد التي تستطيع أن تسترجع شكلها الأصلي بعد زوال الإجهاد المؤثر عليها مع وجود بعض التشوهات في شكلها وحجمها مثل معادن الحديد.
3) مواد غير مرنة : وهي المواد التي لآ تستطيع أن تسترجع شكلها الأصلي بعد زوال الإجهاد المؤثر عليها مثل مادة المعاجين.

الإجهاد والإنفعال

عند التأثير علي المواد المرنة فإنها تقع تحت إجهاد ينتج عنه إنفعال ، وهذا الإنفعال يكون إما بالزيادة في طولها وحجمها أو بالنقصان وكذلك قد يكون هذا الإنفعال تغير في الشكل.

الإجهاد (S) ***Stress*** ◄ عبارة عن القوة المؤثرة عمودياً علي وحدة المساحة ، ويقاس الإجهاد بوحدة (N/m^2).

$$S = F/A$$

وجدير بالذكر أن الصخور تتعرض عادة إلي ثلاثة أنواع من الإجهادات :-

1. إجهادات الضغط *Compressive Stress* : يؤدي هذا الإجهاد إلي إنكماش حجم الصخور التي تتعرض لها ، وفيه تؤثر قوتان متساويتان بالمقدار متقابلتان بنفس الإتجاه تعملان علي ضغط الجسم وتقصير طوله.
2. إجهادات الشد *Tensile Stress* : يؤدي هذا الإجهاد إلي حدوث تصدع في الصخور التي تتعرض لها ، وفيه تؤثر قوتان متساويتان بالمقدار متعاكستان في الإتجاه تقعان علي نهايتي الجسم وعلي نفس خط التأثير.
3. إجهادات القص *Shear Stress* : وفيه تؤثر قوتان متساويتان بالمقدار متعاكستان في الإتجاه ولكن لا تؤثران علي نفس المكان فتؤديان إلي تحريك جزء من المادة في إتجاه والجزء الأخر في إتجاه أخر مما يؤدي إلي أحد شيئين :-
   - ✓ الآول : كسر المادة أو ما يعرف في الهندسة بإسم القص.
   - ✓ الثاني : الخضوع وهو إستجابة المادة للإجهاد فيتشوه شكل المادة متخذاً إتجاه القوة المؤثرة عليه.

الإنفعال (e) *Strain* ◄ هو إستجابة المادة للقوة المؤثرة عليها وقد يكون التغير في الطول أو الحجم أو الشكل ، بمعني آخر يمكن القول بإن الإنفعال هو التغير في الطول بالنسبة إلي الطول الأصلي أو التغير في الحجم بالنسبة للحجم الأصلي.

ثالثاً : الخصائص الكيميائية *Chemical Properties*

يقصد بها ما تحتويه التربة من مواد كيميائية قد يكون لها تأثير سلبي علي خرسانة الأساسات كمحتوي الكبريتات والكلوريدات والشوائب العضوية والأملاح القابلة للذوبان وحامضية أو قاعدية الوسط.

1. محتوي الكبريتات في التربة *Sulphate Content*

الكبريتات الذائبة في المياه الجوفية لها تأثير سلبي علي الخرسانة وأي مواد أخري تحتوي علي الأسمنت ، حيث يجري التفاعل بين الكبريتات ومركبات الألومينات (*Aluminate Compounds*) الموجودة في الأسمنت مما يتسبب في حدوث تبلور لهذه المركبات يؤدي إلي تمدد ينشأ عنه إجهادات إضافية تتسبب في حدوث تشققات وتفتت ، كما أن وجود الكبريتات في التربة التي تحيط بالأنابيب المعدنية المطمورة يؤدي إلي صدأ هذه الأنابيب مما يتسبب في حدوث التسرب.

ويفيد تحديد نسبة الكبريتات في التربة في تقدير حجم الضرر الذي قد ينجم عنها ، وذلك لإتخاذ ما يلزم من أحتياطيات مضادة كأستعمال الأسمنت المقاوم للكبريتات أو زيادة نسبة الأسمنت في الخلطة الخرسانية.

2. محتوي الكلوريد في التربة *Chloride Content*

لا يتفاعل الكلوريد مباشرة مع الأسمنت كما هو الحال بالنسبة للكبريتات ، ولكن تأثيره يقتصر علي الأجزاء المعدنية التي قد يصل إليها وأهمها حديد التسليح ، وهذا يؤدي إلي صدأ هذه الأجزاء مما يتسبب في تلف الخرسانة المسلحة وحدوث التشققات في أجزائها ، وتجدر الإشارة إلي أن الكلوريدات قد تكون موجودة في المكونات الأساسية للخرسانة كالركام والماء ، ووصولها لحديد التسليح ليس مقصوراً علي نفاذها من التربة ، لذلك فلآبد من أخذها في الإعتبار في المنشآت والمباني التي تقام في المناطق الساحلية.

3. محتوي المواد العضوية *Organic Matter Content*

المواد العضوية في التربة تتشكل من مخلفات الحيوانات والمزارع ، وتأثير هذه المواد علي التربة لها تأثير سلبي علي سلوك التربة يؤدي إلي إنخفاض قدرة تحمل التربة ، وزيادة إنضغاطية التربة ، وزيادة إحتمالية الإنتفاخ والتقلص بسبب التغير في محتوي الرطوبة ، كما أن وجود الغاز في فراغات التربة العضوية يمكن أن يؤدي لهبوط فوري.

4. حامضية أو قاعدية الوسط ***Acidity or Alkalinity – PH Value***

تؤثر حامضة أو قاعدية المياه الجوفية علي التربة تاثيراً سلبياً علي الخرسانة المطمورة في التربة ، فالوسط الحامضي يؤدي إلي صدأ المعادن وهو ما يفسر ضرر الحامضية علي الخرسانة المسلحة ، وهناك نوع من الترابط بين الرقم الهيدروجيني (PH) ونسبة الكبريتات ، حيث يلزم قياس الرقم الهيدروجيني حينما يتم قياس نسبة الكبريتات ... وقد ثبت إنه إذا كانت قيمة الرقم الهيدروجيني أقل من 4.3 مع نسبة عالية من الكبريتات ، فإن هذا يدل علي وجود حامض الكبريتيك H_2SO_4.

قوام التربة SOIL CONSISTENCY

يمكن تعريف قوام التربة بأنه عبارة عن حجم الحبيبات التي تتكون منها التربة ، ومن ثم قد تكون التربة خشنة أو متوسطة أو دقيقة الحبيبات ، وبدون أدني شك تؤثر هذه الصفات الحجمية في مقدار نفاذية التربة للمياه ، ويعتمد قوام التربة ومدي تماسكها وأرتباط حبيباتها علي نسبة المحتوي المائي بها ، فكلما زادت نسبة المحتوي المائي بالتربة قل قوامها وضعف تحملها وتباعدت حبيباتها المتجاورة وأصبحت تميل إلي الحالة السائلة ، والتربة المتماسكة مثل الطمي والطين والتي لها حبيبات ناعمة توصف باللدونة ، وعلي حسب المحتوي المائي للتربة فإنها تقع في أحد الحالات الأربعة التالية :-

(1) الحالة الصلبة ***Solid State***
(2) الحالة الشبه صلبة ***Semi-solid State***
(3) الحالة اللدنة ***Plastic State***
(4) الحالة السائلة ***Liquid State***

وتعرف المحتويات المائية التي تتحول عندها التربة من حالة إلي حالة أخري بحدود أتربرج *Atterberg Limits* ، وهذه الحدود أفترضها العالم السويدي أتربرج في أوائل القرن العشرين الميلادي ، ومن أهم هذه الحدود :-

1. **حد السيولة *Liquid limit* : عبارة عن أقل نسبة مئوية للمحتوى المائي للتربة والذي إذا قل عنه أصبحت التربة لدنة ، ويمكن تعريفه أيضاً بأنه عبارة عن كمية المياه اللازمة لتحويل التربة من الحالة اللدنة إلي الحالة السائلة أو العكس.**

✍ **مؤشر السيولة *Liquidity Index* : عبارة عن النسبة بين الفرق بين محتوي الرطوبة الطبيعي وحد اللدونة إلي مؤشر اللدونة ، ويعبر عن هذا المؤشر بإستخدام المعادلة التالية :-**

$$LI = (w_c - PL)/PI$$

فالتربة عندما تكون عند حد السيولة فإن دليل السيولة يساوي واحد (100 %) وتتصرف كانها مادة سائلة ، وعندما تكون التربة عند حد اللدونة فإن دليل السيولة يساوي صفر تقريباً.

2. **حد اللدونة *Plastic limit* : عبارة عن المحتوى المائي للتربة والذي إذا قل عنه تصبح التربة غير لدنة ، ويمكن تعريفه أيضاً بأنه عبارة عن كمية المياه اللازمة لتحويل التربة من الحالة اللدنة إلي الحالة شبه الصلبة أو العكس.**

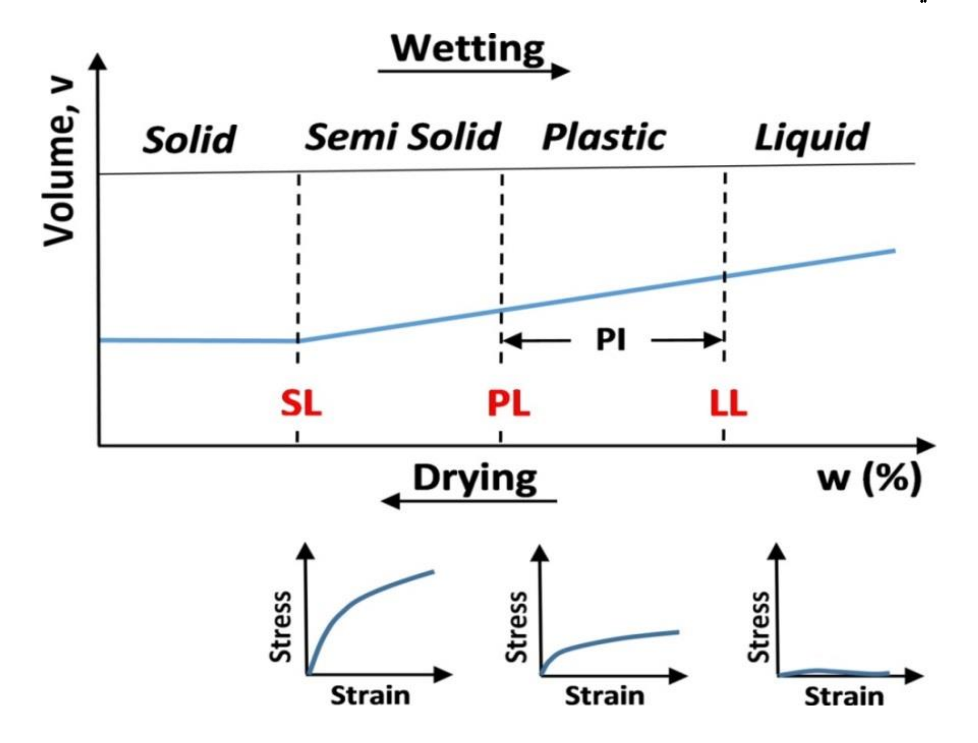
✍ **مؤشر اللدونة *Plasticity Index* : عبارة عن نطاق المحتوى المائي للتربة الذي تتشوه عنده بشكل لدن ، ويمكن تعريفه أيضاً بانه الفرق بين حد السيولة وحد اللدونة ، ويعبر عنه بالمعادلة التالية :-**

$$PI = LL - PL$$

PI	Plasticity	Soil
0	Non-Plasticity	Sand , Gravel
< 7	Low-Plastic	Silt
17 - 7	Med-Plastic	Silty-clay
> 17	High-Plastic	Clay

3. حد الإنكماش Shrinkage limit : عبارة عن أقل نسبة مئوية للمحتوى المائي والذي لا يحدث بعده أي نقص في حجم التربة نتيجة لفقدان الرطوبة منها ، ويمكن تعريفه أيضاً بأنه عبارة عن كمية المياه اللازمة لتحويل التربة من الحالة الصلبة إلي الحالة شبه الصلبة أو العكس.

نتيجة لتغير حالة التربة مع تغير المحتوي المائي يتغير السلوك الهندسي لها من حيث قوتها أو مقاومتها للجهد المسلط في كل حالة ، فعند حالة السيولة تكون التربة أقل قوة ويمكن أن تتعرض إلي تشوهات كبيرة وتتصرف كأنها سائل لزج ، بينما تكون التربة في الحالة شبه الصلبة والصلبة أكبر قوة ولكنها هشة ومعرضة للتشققات ، أما التربة في حالة اللدونة فتمتاز بقوة متوسطة وتتشوه بشكل لدن كما هو مبين بالشكل الآتي.



دليل القوام Consistency Index : عبارة عن النسبة بين الفرق بين حد السيولة ومحتوي الرطوبة الطبيعي إلي مؤشر اللدونة.

$$CI = (LL - w_c)/PI$$

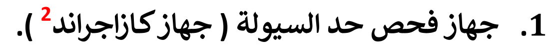
CI	Soil Type
0	Very Soft
0.25 - 0	Soft
0.5 - 0.25	Medium Stiff
0.75 - 0.5	Stiff
1 - 0.75	Very Stiff
> 1	Extremely Stiff

تجربة تعيين حد السيولة واللدونة

أولاً : تجربة تعيين حد السيولة (يتحقق حد السيولة عندما يمكن غلق شق طوله 13 مم بإستخدام 25 ضربة).

الأجهزة والأدوات المستخدمة



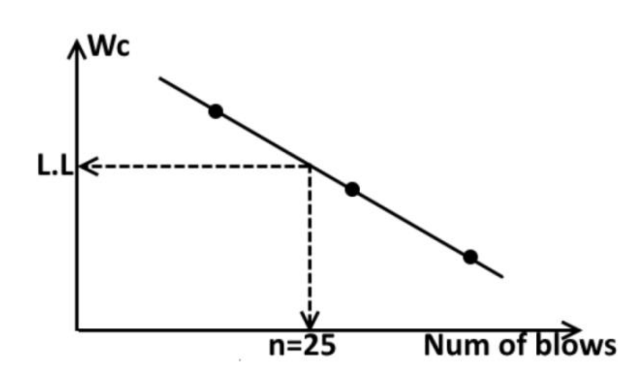


1. جهاز فحص حد السيولة (جهاز كازاجراند[2]).
2. منخل قياسي رقم 40.
3. آلة أستحداث الشق.
4. سكينة مزج.
5. قارورة ماء.
6. أوعية قياس المحتوي المائي (جفن).
7. ميزان حساس.
8. فرن كهربائي لغرض التجفيف.

خطوات التجربة

(1) يتم إحضار عينة (في حدود 150 - 200 جرام) من تربة ناعمة جافة[3] مارة من منخل رقم 40.
(2) إضافة كمية كافية من الماء للعينة مع التقليب الجيد بواسطة سكينة المزج لتكوين خليط متجانس.
(3) أخذ جزء من الخليط ووضعه في الوعاء المعدني للجهاز ونسوي سطح العينة بواسطة سكينة المزج دون ترك أي فراغات هوائية علي أي يكون سمك منتصف العينة 1 سم ثم نزيل الزوائد من الوعاء.
(4) بإستخدام آلة أستحداث الشق يتم عمل شق طولي (يرعي أن يكون الشق نظيف وسليم).
(5) تشغيل يد الجهاز بمعدل لفتين في الثانية وتستمر هذه العملية إلي أن يتم الإلتصاق بين جزئي التربة عند قاع الشق لمسافة مقدارها 13 مم (يجب التأكد من طول مسافة الإلتصاق بإستعمال مسطرة مدرجة أو ذيل أداة الشق).
(6) يسجل عدد الضربات اللازمة لغلق 13 مم (1.3 سم) من الشق.
(7) يتم أخذ عينة من منطقة الإلتصاق ونضعها في جفنة لتعيين محتوي الرطوبة.
(8) نكرر الخطوات السابقة عدة مرات وفي كل مرة نغير كمية المياه المضافة لنحصل علي الأقل علي ثلاث محاولات يتراوح عدد الضربات بين (15 - 35) ضربة.

✓ حد السيولة هو المحتوي المائي المقابل لعدد الضربات 25.



---

[2] يتكون الجهاز من قاعدة ذات أربع أرجل مطاطية ويوجد كأس من النحاس فوق القاعدة مرتبط بذراع يعمل علي تحريكه من الأعلي والأسفل ليرتطم بالقاعدة.
[3] يتم تجفيف التربة بواسطة تركها في الهواء داخل المعمل لمدة لا تقل عن أسبوع ولا يسمح بتجفيفها بواسطة الفرن لأن هذه العملية تقلل في العادة من قيم حدي السيولة واللدونة على عكس التجفيف بالهواء حيث دلت البحوث على أن التربة المجففة هوائياً يمكن أن تستعيد القيم الحقيقية للحدود بعد خلطها بالماء ومعالجتها من 24 إلى 48 ساعة.

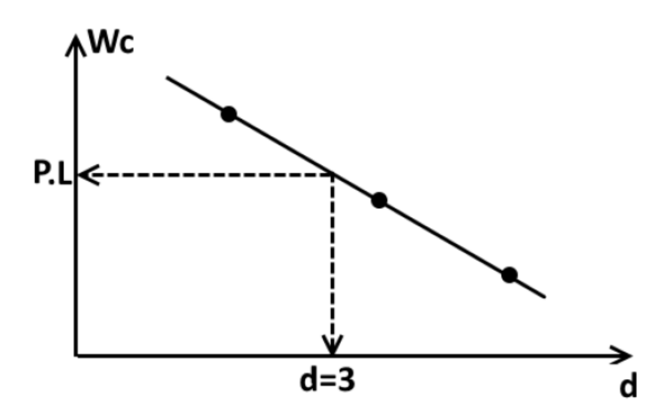
ثانياً: تجربة تعيين حد اللدونة (يتحقق حد اللدونة عند تكوين خيط قطره 3 مم من العينة دون حدوث تمزق).

(1) يتم إحضار عينة (في حدود 150 - 200 جرام) من تربة ناعمة جافة مارة من منخل رقم 40.
(2) إضافة كمية كافية من الماء للعينة مع التقليب الجيد بواسطة سكينة المزج لتكوين خليط متجانس.
(3) نأخذ قطعة صغيرة من الخليط وندعكها بالأصابع علي سطح أملس لعمل خيط حتي يصبح الخيط تحت الأصابع منتظماً ويصبح قطره بحدود (3 مم).

- **إذا لم يتشقق الخيط بهذا القطر فهذا يعني إن محتوى الرطوبة به أكبر من حد اللدونة ويقطع الخيط ويعاد تشكيله لكي يفقد جزء من الماء بالتبخر وتعاد الخطوة (3) إلي أن يبدأ الخيط بالتشقق عند قطر (3 مم).**
- **إذا تشقق الخيط بقطر أكبر من (3 مم) فهذا يعني أن محتوي الرطوبة فيه أقل من حد اللدونة ويقطع الخيط ويضاف إليه القليل من الماء ويعاد تشكيله ثم تعاد الخطوة (3) حتى يبدأ الخيط بالتشقق عند قطر (3 مم).**

(4) تجمع أجزاء الخيط المفتتة وتوضع في جفنة لتعيين محتوي الرطوبة.
(5) نكرر الخطوات السابقة للحصول علي ثلاث محاولات علي الأقل.

- ✓ **حد اللدونة هو المحتوي المائي المقابل لخيط قطره 3 مم.**



مسألة مهمة[3] :: عينة من التربة أظهرت أختباراتها المعملية النتائج التالية : المحتوي المائي الطبيعي $W_c = 43.8\ \%$ ، وحد السيولة $LL = 48.3\ \%$ ، وكان مؤشر اللدونة $PI = 21.7\ \%$ ، فأوجد حد اللدونة ومؤشر السيولة ؟

حل المسألة

- **من خلال معادلة مؤشر اللدونة يمكن تعيين حد اللدونة -:**

$$\because PI = LL - PL$$

$$\therefore 21.7 = 48.3 - PL$$

$$\therefore PL = 26.6\ \%$$

- **أما مؤشر السيولة فيمكن إيجاده بإستخدام المعادلة التالية -:**

$$\because LI = (w_c - PL)/PI$$

$$\therefore\ LI = (43.8 - 26.6)/21.7$$

$$\therefore LI = 0.79$$

التدرج الـحـبـيـبـي للتربة PARTICLE SIZE DISTRIBUTION OF SOIL

التدرج الحبيـبـي عبارة عن عملية تحليل وتصنيف أحجام المواد الحصوية المختلفة لعينة محددة ، ويتم من خلال هذه العملية الفصل بين المواد الحصوية تبعاً للحجم وكذلك حساب النسبة المئوية لكل مجموعة حصوية موجودة في كل منخل ، وبذلك يتم تحديد خواصها ومدي قابليتها وصلاحيتها ومقاومتها للإستخدام في المنشات الهندسية وغيرها من الأعمال ، ويعد التدرج الحبيـبـي من أهم الطرق المستخدمة في تصنيف التربة حيث يتم فصل حبيبات التربة عن بعضها البعض تبعاً لأحجامها بواسطة التحليل الميكانيكي والذي يتضمن :-

1. إختبار التحليل المنخلي ***Sieve Analysis Test*** : يجري هذا الإختبار علي الحبيبات الخشنة من التربة (الحصي والرمل) وتتمثل فكرة هذا الإختبار في فصل حبيبات التربة التي تزيد أقطارها عن 0.074 مم بواسطة مجموعة من المناخيل القياسية التي تحمل أرقاماً تتراوح غالباً بين رقم 4 ورقم 200 (حسب المواصفات الأمريكية) وهذه المناخل ذات فتحات ثابتة يتم ترتيبها من الأكبر إلي الأصغر حسب قطر الفتحات الموضحة في الجدول التالي.
2. إختبار التحليل الهيدرومتري ***Hydrometer Analysis Test*** : يجري هذا الإختبار علي الحبيبات الناعمة من التربة (الطمي والطين) وذلك لصعوبة فصل حبيباتها بالتحليل المنخلي.

" الجدول التالي يوضح فتحات مناخل التحليل الميكـانيكـي "

رقم المنخل *Sieve No.*	فتحة المنخل *Opening (mm)*
3 In	75
2 In	50
1.5 In	37.5
1 In	25
$^{3}/_{4}$ In	19
$^{3}/_{8}$ In	9.5
No. 4	4.75
No. 8	2.36
No. 10	2
No. 16	1.18
No. 20	0.85
No. 30	0.6
No. 40	0.425
No. 50	0.3
No. 60	0.250
No. 80	0.180
No. 100	0.150
No. 140	0.106
No. 200	0.074

إختبار التحليل المنخلي

1. يتم عمل طريقة التقسيم الربعي للتربة المراد إختبارها.
2. تؤخذ عينة من التربة السابق تجفيفها بالفرن وتوزن.
3. يجهز المناخل ذو المقاس الملائم لأكبر مقياس لحبيبات العينة ، وترتب المناخل طبقاً لمقياس الفتحة ترتيباً تصاعدياً ابتداءً من الوعاء ، ثم تنخل العينة ويبدأ النخل بالمنخل الأكبر وينتهي بالمنخل الأصغر.
4. تجري عملية النخل بهز المناخل ميكانيكياً أو يدوياً مدة كافية لا تقل عن 5 دقائق ويكون النخل أفقياً وراسياً وذلك بهزه آماماً وخلفاً ويميناً وشمالاً ودئراياً في إتجاه عقارب الساعة والعكس.
   - ✓ يرعي أثناء نخل الركام الكبير ألا تجبر حبيباته علي المرور من فتحات المنخل بالضغط عليها باليد.
   - ✓ يرعي أثناء نخل الركام الصغير إمكان فرك التكورات المتجمعة إن وجدت بضغطها علي جدار المنخل.
5. توزن مقادير الركام المحجوزة علي كل منخل علي حده بواسطة الميزان الحساس.
6. تحسب النسبة المئوية للركام المحجوز علي كل منخل والنسبة المئوية للركام المار منه.
7. يعين من النسب المئوية للمار المقاس الآعتباري الأكبر للركام وهي التي تمثل 95 %.
8. يحسب معاير النعومة للركام.

- ✓ المقياس الآعتباري الأكبر ***Max Aggregate Size*** : هو مقياس أصغر فتحة منخل يمر منه 95 % علي الأقل من الركام.
- ✓ معامل النعومة ***Fineness Modulus*** : هو مجموع النسب المئوية للركام المحجوز مقسوماً علي 100.





مثال توضيحي بالرموز :-

مقياس / رقم المنخل	الوزن المحجوز	الوزن الكلي المحجوز	نسبة المحجوز %	نسبة المار %
4	***W1***	***W1***	$W1 / W_T$	100 - نسبة المحجوز
10	***W2***	***W1+W2***	$W1+W2 / W_T$	100 - نسبة المحجوز
20	***W3***	***W1+W2+W3***	$W1+W2+W3/ W_T$	100 - نسبة المحجوز
		W Total		

أنواع الركام من حيث التدرج :-

1) الركام المتدرج ***Graded Aggregate*** : وهو الركام الذي يحتوي علي معظم مقاسات المناخل القياسية.
2) الركام الجيد التدرج ***Well Graded*** : وهو الركام الذي يحتوي علي الكميات المناسبة من مقاسات المناخل القياسية.
3) الركام ناقص التدرج ***Gap Graded*** : وهو الركام الذي لا يوجد به مقاس أو أكثر من مقاسات المناخل القياسية.
4) الركام ضعيف التدرج ***Poor Graded*** : وهو الركام الذي يحتوي علي مقاس واحد أو مقاسين من مقاسات المناخل القياسية.

دمك التربة SOIL COMPACTION

عُرف دمك التربة منذ القدم حينما بدأ الإنسان في بناء السدود القديمة حيث كانت تتم عملية دمك التربة بتمرير أعداد كبيرة من العمال و الحيوانات علي التربة المفككة مرات متعددة ، وكانت جسور السكك الحديدية في البداية تدمك بترك تربتها عدة سنين لتدمك تحت تأثير وزنها قبل وضع طبقة الزلط فوقها ، وكانت عملية دمك التربة تتم بطريقة غير مدروسة ومعرضة لكثير من الأخطاء إلي أن قدم المهندس الأمريكي بروكتور أبحاثه عام 1933 م فأدخل الأسلوب العلمي في هذا المجال ، ويمكن تعريف عملية الدمك بإنها عبارة عن إعادة ترتيب حبيبات التربة بطرد الهواء فقط من فراغات التربة ويتم ذلك بإستخدام وسائل ميكانيكية وينتج عن ذلك نقص في حجم فراغات الهواء وزيادة في كثافة التربة.

الهدف من عملية دمك التربة

(1) زيادة كثافة التربة وتقليل نسبة فراغتها.
(2) زيادة قدرة تحمل التربة والحد من هبوطها.
(3) التحكم في التغيرات الحجمية للتربة من حيث الإنكماش والإنتفاخ.
(4) خفض نفاذية التربة للمياه.
(5) زيادة معامل الأمان ضد الإنزلاق لتربة الميول.

نظرية الدمك COMPACTION THEORY

عند دمك التربة بطاقة دمك معينة فإن الكثافة الجافة للتربة تتغير لأن دمك التربة يعمل علي طرد الهواء الموجود في فراغات التربة حيث يترك ذلك إمكانية لحبيبات التربة أن تنزلق إلي تلك الفراغات وتأخذ الوضع الذي يؤدي إلي زيادة كثافة التربة بالإضافة إلي وجود الماء بين الحبيبات وطالما أن هناك إمكانية لطرد الهواء فإن الكثافة الجافة تزيد بزيادة المحتوي المائي للتربة حتي تصل إلي أعلي قيمة لها ، ثم بعد ذلك تبدأ الكثافة الجافة بالإنخفاض تدريجياً نتيجة أن الماء يبدأ في الآحلال بدلاً من الحبيبات الصلبة للتربة وبالتالي يزداد حجم التربة وتقل الكثافة لأن العلاقة بينهم عكسية ، ويسمي محتوي الرطوبة الذي تحدث عنده أقصي كثافة جافة بمحتوي الرطوبة المثالي (*OMC*) *Optimum Moisture Content*.

تجارب الدمك المعملية

هناك الكثير من الإختبارات التي تستخدم لدمك التربة في المعمل عوضاً عن دمكها في الحقل ، وذلك نظراً لسهولة وسرعة إجراء هذه الإختبارات ، والتي من أهمها ما يلي :-

1. إختبار بروكتور القياسي *Standard Proctor Test*
2. إختبار بروكتور المعدل *Modified Proctor Test*
3. إختبار هارفرد *Harvard Test*
4. الإختبار الاستاتيكي *Static Test*

وإختباري بروكتور القياسي والمعدل (طبقاً للكود الأمريكي ASTM: D 1557) هما الأكثر إستخداماً وشيوعاً ، والغرض من هذا الإختبار هو تحديد أقصي كثافة جافة (γ_{d-max}) للتربة المدموكة في قالب معلوم الأبعاد وكذلك نسبة المياه الأصولية (*OMC*) وهي محتوي الرطوبة المثالي المناظر لآقصي كثافة جافة.

إختبار بروكتور المعدل

يعتبر هذا الإختبار طريقة معدلة ومطورة لإختبار بروكتور القياسي بإستخدام نفس مواصفات القالب بهدف الحصول علي نتائج تؤدي إلي زيادة أقصي كثافة جافة للتربة ، والجدول التالي يوضح الفرق بين إختبار بروكتور القياسي و المعدل :-

وجه المقارنة	إختبار بروكتور القياسي	إختبار بروكتور المعدل
عدد الطبقات	3	5
عدد الدقات لكل طبقة	25	25 أو 56
قطر القالب	4 بوصة	4 أو 6 بوصة
وزن المطرقة	2.5 كجم	4.5 كجم
إرتفاع سقوط المطرقة	12 بوصة (30.5 سم)	18 بوصة (45.7 سم)

الأجهزة والأدوات المستخدمة

1. أدوات الدمك وتشمل :-
   a. قالب معدني إسطواني ذو قطر 4 بوصة و 6 بوصة ، ويختلف قطر القالب الداخلي حسب الطريقة المتبعة.
   b. حلقة *Collar* وقاعدة *Base Plate* .
   c. مطرقة الدمك *Hammar* وهي أما يدوية أو ميكانيكة.
2. مناخل قياسية (منخل رقم 4 ، منخل $3/8$ بوصة ، منخل $3/4$ بوصة).
3. ميزان حساس.
4. فرن كهربائي لغرض التجفيف.
5. أوعية قياس المحتوي المائي (جفن).
6. أدوات خلط ومسطرة صلبة قوية.





طرق أختبار بروكتور المعدل

يختلف إستخدام قطر القالب وعدد الدقات في أختبار بروكتور المعدل حسب طريقة الإختبار كما هو موضح في الجدول التالي :-

الطريقة	قطر القالب	عدد الدقات	حدود إستخدام العينة
A	4 بوصة	25	أذا كانت العينة مارة من منخل 4.75 مم ونسبة المحجوز أقل من أو يساوي 20 % من وزن العينة.
B	4 بوصة	25	أذا كانت العينة مارة من منخل 9.5 مم ونسبة المحجوز أقل من أو يساوي 20 % من وزن العينة.
C	6 بوصة	56	أذا كانت العينة مارة من منخل 19 مم ونسبة المحجوز أقل من أو يساوي 30 % من وزن العينة.
لآحظ : أذا كانت نسبة المحجوز علي منخل 19 مم أكبر من 30 % ← مينفعش أعمل إختبار بروكتور.			

خطوات إختبار بروكتور

يتم هذا الإختبار بتحضير 6 كجم من عينة التربة القادمة من الموقع ، ثم نقوم بعمل تحليل منخلي لهذه العينة بواسطة منخل $3/4$ بوصة ثم نقوم بوزن الجزء المحجوز علي هذا المنخل ويتم إستعواضه أو إستبداله بوزن مساوي له من المار من منخل $3/4$ بوصة ومحجوز علي منخل رقم 4 وتسمي هذه الطريقة بطريقة الإستعواض ، ثم بعد ذلك لآبد من خلط العينة جيداً ثم يضاف إليها حوالي 2 % من وزنها ماء لترطيبها وتخلط جيداً بإستخدام أدوات الخلط ، ثم يتم وضع العينة داخل القالب ودمكها حسب طريقة بروكتور المستخدمة (الدمك علي ثلاث طبقات متساوية بإستخدام مطرقة خاصة وزنها 2.5 كجم أو الدمك علي خمس طبقات متساوية بإستخدام مطرقة خاصة وزنها 4.5 كجم) ، وتدمك كل طبقة بمقدار 25 ضربة بإرتفاع سقوط حر 30.5 سم علي حسب بروكتور القياسي (أو تدمك كل طبقة بمقدار 25 ضربة بإرتفاع سقوط حر 45.7 سم علي حسب بروكتور المعدل ، مع ملاحظة أن حجم القالب في هذه الحالة 4 بوصة).

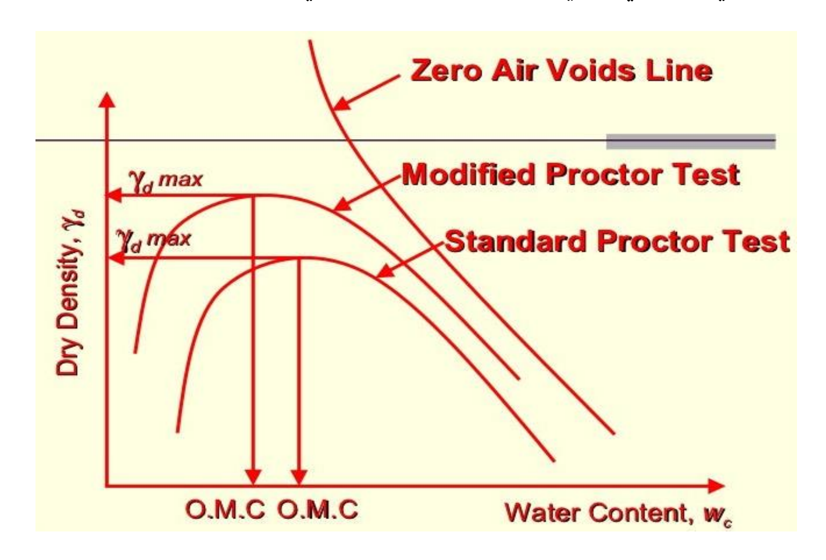
وبعد الإنتهاء من عملية الدمك يتم فك الحلقة الخاصة ***Collar*** الموجودة أعلي القالب ونسوي سطح القالب بإستخدام المسطرة الصلبة القوية ، ثم نقوم بوزن القالب بالعينة لمعرفة وزن العينة بعد طرح وزن القالب منها ، وبمعلومية وزن العينة وحجم القالب يمكننا الحصول علي الكثافة الرطبة لعينة التربة.

ثم بعد ذلك نقوم بتفريغ العينة الموجودة بالقالب ، ثم نكون عينة أخري من تلك التربة في نفس القالب ونكرر الخطوات السابقة مع زيادة المياه في كل مرة حتي تقل أو تثبت الكثافة الرطبة للتربة المدموكة بالقالب ، وفي كل إختبار يؤخذ عينة من التربة المدموكة ونضعها في جفنة لحساب نسبة المحتوي المائي لها.

وبإستخدام المعادلة التالية يمكن تحديد الكثافة الجافة لكل محاولة ثم ترسم العلاقة بينها وبين نسبة المحتوي المائي المناظرة لها.

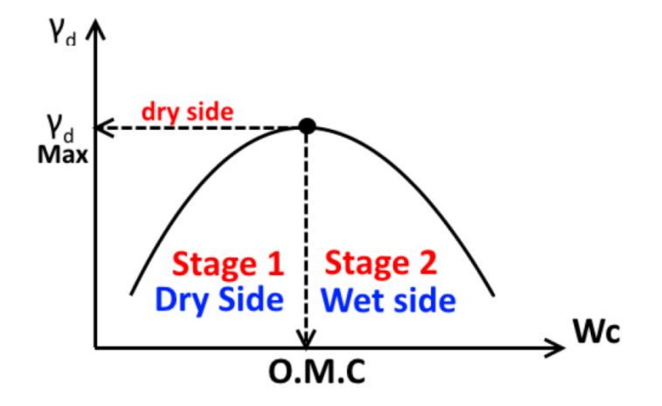
$$y_d = \frac{y_b}{1 + W_c}$$

الصورة التالية توضح الفرق بين إختبار بروكتور القياسي والمعدل ، ونلاحظ الزيادة في الكثافة الجافة القصوي في إختبار بروكتور المعدل ، وتمثل أعلي نقطة علي المنحني التالي نقطة التقاطع بين أقصي كثافة جافة ونسبة المحتوي المائي المناظرة لها.



العوامل المؤثرة علي عملية الدمك ::-

أولاً : المحتوي المائي ***Moisture Content***



في المرحلة الأولي (*Stage* 1) ◄ بزيادة المحتوي المائي تزداد الكثافة الجافة حيث أن الماء يساعد علي إنزلاق حبيبات التربة وبالتالي يحدث نقص في حجم الفراغات حتي الوصول لآقصي قيمة للكثافة عند نقطة OMC.

في المرحلة الثانية (*Stage* 2) ◄ بزيادة المحتوي المائي تقل الكثافة الجافة لأن الماء ملء جميع فراغات الهواء في التربة ثم بدأ الماء يُزيد من حجم التربة وبالتالي مع زيادة الحجم تقل الكثافة لأن العلاقة بينهم عكسية.

ثانياً : جهد الدمك ***Compaction Effort***

من خلال دراسة ما سبق نلآحظ أن الكثافة الجافة في إختبار بروكتور المعدل كانت أعلي عن بروكتور القياسي ؛ لأن الإجهاد الذي تم من المطرقة في الإختبار المعدل كان أعلي لأن المطرقة كانت أثقل وبالتالي جهد الدمك المؤثر كان أعلي.

✍ ويمكن حساب الجهد عن طريق المعادلة التالية :-

$$E = \frac{W \times H \times N \times n}{V}$$

✍ E ◄ جهد التربة.
✍ W ◄ وزن المطرقة.
✍ H ◄ إرتفاع سقوط المطرقة.
✍ N ◄ عدد طبقات التربة.
✍ n ◄ عدد مرات الدمك.
✍ V ◄ حجم التربة.

ثالثاً : نوع التربة *Soil Type*

نلآحظ من الشكل المقابل إنه بزيادة حجم الحبيبات تزداد الكثافة الجافة وتقل كمية المياه المطلوبة لتحقيق أقصي كثافة.

طرق الدمك في الموقع

يتم دمك التربة في الموقع بإستخدام معدات مخصصة لهذا الغرض حيث يرتبط إستخدام كل منها بنوع التربة ومدي توفر تلك المعدة ، وتختلف هذه المعدات من حيث طريقة الإستخدام فمنها ما يعتمد علي الضغط ومنها ما يعتمد علي الإهتزاز ، وأهم معدات دمك التربة في الموقع ما يلي :-

1. **عجلات أسطوانية ملساء.**
2. **عجلات أسطوانية مطاطية.**





3. **أسطوانات أرجل الغنم.**
4. **أسطوانات الدمك الإهتزازية.**





وفي حالة أن المساحات المراد دمكـها صغيرة أو محدودة يتم إستخدام ماكينة هزاز يدوي لإجراء عملية الدمك.



تحديد كثافة التربة في الموقع

يلزم تحديد كثافة التربة في الموقع لمقارنتها بقيمة أقصي كثافة جافة تم الحصول عليها من الإختبارات المعملية ، ويمكن تحديد كثافة التربة في الموقع بإستخدام الطرق التالية :-

1. طريقة مخروط الرمل ***Sand Cone Method***
2. طريقة البالون المطاطي ***Rubber Balloon Method***

" طريقة مخروط الرمل Sand Cone Method "

أدوات أختبار مخروط الرمل

1. مخروط يتكون من إناء يوضع فيه الرمل القياسي ، ويعلو هذا الإناء مخروط الصب وبينهما صمام قطره 13 مم.
2. قاعدة معدنية مسطحة ومستوية بها فتحة في المنتصف تساوي قطر فتحة المخروط.
3. ميزان حساس.
4. فرن كهربائي لغرض التجفيف.
5. أوعية قياس المحتوي المائي (جفن).
6. أدوات أخري مثل معلقة لآخذ العينات ومسامير لتثبيت القاعدة وأدوات التنظيف.

خطوات أختبار مخروط الرمل (طبقاً للكود الامريكي ASTM : D 1556)

1) يتم إختيار مكان الإختبار علي أن يكون ممثل للمساحة المراد إختبارها.
2) يتم إمتلاء الإناء بالرمل القياسي المعلوم الكثافة[4] ، ثم يتم تسجيل وزن الإناء بعد إمتلاءه بالرمل القياسي.
3) يتم تسوية سطح الطبقة ثم تثبيت القاعدة ويراعي أن تكون ملامسة تماماً لسطح الطبقة المراد إختبارها.
4) يتم عمل حفرة علي أن يكون قطرها في حدود 15 سم وعمقها بين 12 إلي 15 سم.
5) يتم جمع ناتج الحفر من داخل الحفرة مع مراعاة عدم فقد أي جزء من العينة ثم يتم وزنها جيداً وليكن (W_{soil}).
6) يتم تثبيت الإناء والمخروط فوق الحفرة مقلوباً ويفتح صمام الرمل للسماح بإنسياب الرمل القياسي إلي داخل الحفرة حتي تمتلئ الحفرة وكذلك المخروط ثم يتم غلق الصمام ، ثم يتم تسجيل وزن الرمل المتبقي في الإناء.
7) يتم حساب نسبة المحتوي المائي لعينة من التربة الناتجة من الحفرة.
8) يتم تحديد حجم الحفرة بمعلومية وزن الرمل المستخدم لملء الحفرة وكذلك كثافته ، فإنه يمكن تحديد حجم الرمل الذي يمثل حجم الحفرة من المعادلة التالية :-

$$V_{hole} = \frac{W_{Sand}}{\gamma_{Sand}}$$

9) بمعرفة وزن التربة المزالة من الحفرة وحجم الحفرة يتم إيجاد كثافة التربة الحقلية الرطبة عن طريق المعادلة التالية :-

$$\gamma_b = \frac{W_{Soil}}{V_{hole}}$$

[4] كيفية تحديد كثافة الرمل القياسي ◄ نستخدم قالب قياسي معلوم الوزن والحجم ، ثم نملأ هذا القالب بواسطة السقوط الحر لرمل تم تدريجه بإستخدام منخل رقم 10 و 60 (حسب المواصفات الأمريكية) حتي نقوم بملأ القالب كله ثم نسوي سطحه ، ثم بعد ذلك نقوم بوزن القالب بالرمل ومن خلال ذلك يمكننا معرفة وزن الرمل ، ومن خلال معرفة وزن الرمل وحجم القالب يمكننا إيجاد كثافة الرمل.

10) بمعرفة رطوبة التربة (W_c) والكثافة الرطبة (y_b) يمكن إيجاد الكثافة الحقلية الجافة (y_d) من خلال المعادلة التالية :-

$$y_d = \frac{y_b}{1 + W_c}$$



الدمك النسبي RELATIVE COMPACTION

بعد تحديد نتائج دمك التربة في كل من المعمل والحقل يتم معرفة كفاءة ودرجة الدمك ومقارنته بالمواصفات الهندسية للمشروع ، وتعد درجة الدمك هي المعيار الأساسي الذي يمكن من خلاله الحكم علي جودة الدمك ، ويتم تحديدها من المعادلة التالية :-

$$RC = \frac{y_{d(Field)}}{y_{dmax(Lab)}} \times 100$$

✍ RC : الدمك النسبي.
✍ $y_{d(Field)}$: الكثافة الجافة للتربة في الحقل.
✍ $y_{d-max(Lab)}$: أقصي كثافة جافة للتربة في المعمل.

ويجب ألا تقل نسبة الدمك عن 95 % بأي حال من الأحوال والإ يعتبر الدمك فاشل.

تصنيف التربة SOIL CLASSIFICATION

يقصد بتصنيف التربة أن توضع كل تربة في المجموعة التي لها نفس الخواص والسلوكيات ، ويمكن القول بأن تصنيف التربة هو لغة التخاطب الأولي بين المهتمين بعلم التربة ، ويعد من الأمور المهمة التي يلزم معرفتها والإلمام بها ، فالتصنيف يعتمد علي الغرض من إستخدام التربة فقد يكون التصنيف لأغراض زراعية أو هندسية أو جيولوجية أو غير ذلك ، وبمعرفة نوع التربة يمكن التعامل معها وحل المشاكل التي قد تظهر عند إستخدامها.

ولقد حظي تصنيف التربة بإهتمام عدد من العلماء والباحثين في مجال ميكانيكا التربة[5] ، فظهرت منذ عدة عقود من الزمن العديد من أنظمة تصنيف التربة والتي من أبرزها وأكثرها شيوعاً وإستخداماً :-

(1) تصنيف التربة حسب التوحيد القياسي (*USCS*) *Unified Soil Classification System*
(2) نظام آشتو (*AASHTO*) *American Association Of Highway and Transportation Officials*

تصنيف التربة بنظام التوحيد القياسي

تعتمد هذه الطريقة بالدرجة الأولي علي التوزيع الحبيـبـي للتربة ونتائج التحليل الميكانيكي لها ، وبحسب نسبة حبيبات التربة المارة من منخل رقم 200 فإن نظام التصنيف هذا يوزع التربة إلي مجموعتين رئيسيتين :-

1. مجموعة التربة الخشنة وتشمل الحصي والرمل وذلك عندما تكون نسبة المار من منخل رقم 200 أقل من 50 % ، وتأخذ الرمز G للتربة الحصوية عندما يكون أكثر من نصف التربة الخشنة لا يمر من منخل رقم 4 ، وتأخذ الرمز S للتربة الرملية عندما يقع نصف التربة الخشنة بين منخل 4 ومنخل رقم 200.
2. مجموعة التربة الناعمة وتشمل الطين والطمي بشقيها العضوي والغير عضوي والتربة الفحمية وذلك عندما تكون نسبة المار من منخل رقم 200 أكثر من 50 % ، وتأخذ الرموز التالية :-

✓ M : طمي (*Silt*) غير عضوي.
✓ C : طين (*Clay*) غير عضوي.
✓ O : طمي وطين عضوي (*Organic Silt and Clay*).
✓ Pt : فحم (*Peat*) ذات درجة عضوية عالية.

✍ ويرمز للتربة من حيث التدرج الحبيـبـي ودرجة اللدونة بالرموز التالية :-

✓ W : تدرج جيد (*Well Graded*).
✓ P : تدرج ضعيف (*Poorly Graded*).
✓ H : عالي اللدونة (*High Plasticity*) ، حيث حد السيولة أكبر من 50 %.
✓ L : منخفض اللدونة (*Low Plasticity*) ، حيث حد السيولة أقل من 50 %.

✍ وتوصف التربة في الغالب حسب هذا التصنيف برمزين : الأول يمثل نوع التربة الرئيسي ، أما الرمز الثاني فيوضح درجة تدرج التربة أو المكون الثانوي لها أو حالتها فمثلاً :-

✓ GW : حصي جيد التدرج.
✓ SP : رمل ضعيف التدرج.
✓ CH : طين غير عضوي عالي اللدونة.

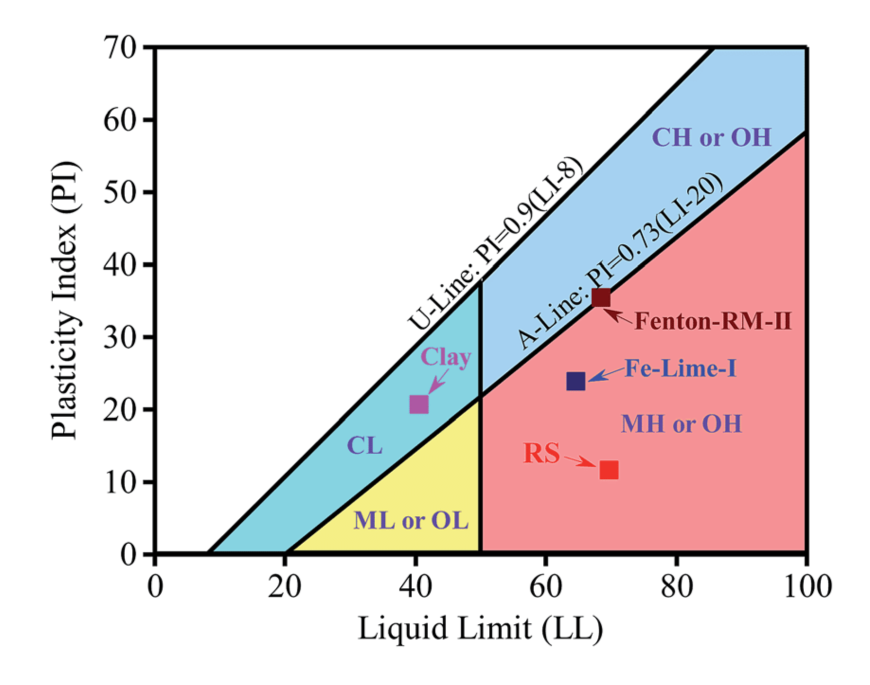
---

[5] ميكانيكا التربة هو العلم الذي يهتم بدراسة الخواص الفيزيائية والهندسية للتربة وفهم سلوكها الهندسي في مواقع أقامة المنشآت الهندسية المختلفة.

" الجدول التالي يوضح نظام التوحيد القياسي لتصنيف التربة "

Major divisions			Group symbol	Group name
Coarse grained soils more than 50% retained on No.200 (0.075 mm) sieve	gravel > 50% of coarse fraction retained on No. 4 (4.75 mm) sieve	clean gravel <5% smaller than #200 Sieve	GW	well-graded gravel, fine to coarse gravel
			GP	poorly graded gravel
		gravel with >12% fines	GM	silty gravel
			GC	clayey gravel
	sand ≥ 50% of coarse fraction passes No.4 sieve	clean sand	SW	well-graded sand, fine to coarse sand
			SP	poorly graded sand
		sand with >12% fines	SM	silty sand
			SC	clayey sand
Fine grained soils more than 50% passes No.200	silt and clay liquid limit < 50	inorganic	ML	silt
			CL	clay

" مخطط اللدونة لتصنيف التربة ذات الحبيبات الناعمة "



مسألة مهمة 4 :: بإستخدام نظام التوحيد القياسي للتربة ، ما هو تصنيف التربة التي لها النتائج التالية :-

- نسبة المار من المنخل رقم 4 = 70 %
- نسبة المار من المنخل رقم 200 = 38 %
- حد السيولة (LL) = 42 %
- حد اللدونة (PL) = 22 %

حل المسألة

∵ نسبة المار من منخل 200 أقل من 50 % ◄ إذن التربة أما أن تكون حصوية أو رملية.

∵ نسبة المار من منخل 4 أكثر من 50 % ◄ إذن التربة تكون رملية S.

✍ بإستخدم نسب حد السيولة (LL) واللدونة (PL) يمكن إيجاد مؤشر اللدونة (PI) بإستخدام المعادلة التالية :-

$$\because PI = LL - PL$$

$$\therefore PI = 42 - 22$$

$$\therefore PI = 20\ \%$$

∴ من خلال تقاطع حد السيولة مع معامل اللدونة بإستخدام مخطط اللدونة فإن التربة تكون طينية منخفضة اللدونة (CL).

تصنيف التربة بنظام آشتو

يعمل نظام آشتو علي تصنيف التربة إلي سبع مجموعات رئيسية موزعة من A-1 إلي A-7 ، ويعتمد هذا التصنيف علي نسبة المار من منخل رقم 200 ، فإذا كانت نسبة المار 35 % أو أقل فإن التربة تكون خشنة (الحصي والرمل) وتصنف علي إنها :-

- ❖ A-1 : تربة ذات تدرج جيد من الحصي والرمل الخشن وقليل من الرمل الناعم.
  - ✍ تم تقسيم المجموعة الآولي إلي مجموعتين فرعيتين وهما (A-1-a ، A-1-b).
- ❖ A-2 : تربة خشنة تحتوي علي مواد ناعمة تصل نسبتها إلي 35 %.
  - ✍ تم تقسيم المجموعة الثانية إلي أربعة مجموعات فرعية وهما :-
    - a. A2-4 : تربة طميية قليلة اللدونة.
    - b. A2-5 : تربة طميية عالية اللدونة.
    - c. A2-6 : تربة طينية قليلة اللدونة.
    - d. A2-7 : تربة طميية عالية اللدونة.
- ❖ A-3 : تربة ذات رمل ناعم ونظيف.

أما إذا كانت نسبة المار من منخل رقم 200 أكبر من 35 % فإن التربة تكون ناعمة (الطمي والطين) وتصنف علي إنها :-

- ❖ A-4 : تربة طميية قليلة اللدونة.
- ❖ A-5 : تربة طميية عالية اللدونة.
- ❖ A-6 : تربة طينية قليلة اللدونة.
- ❖ A-7 : تربة طينية عالية اللدونة.

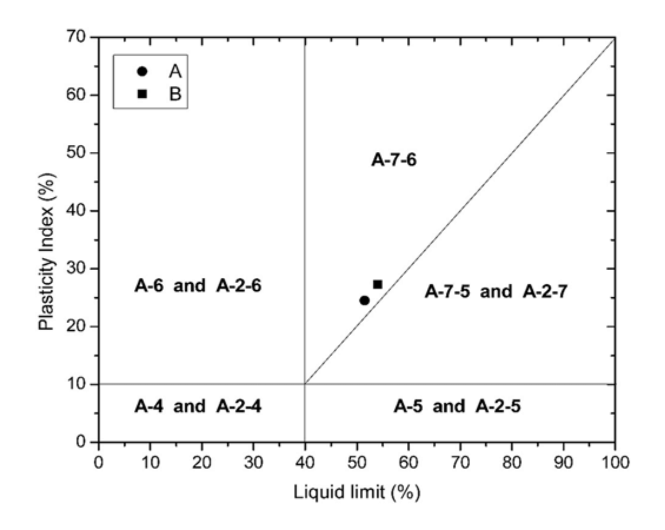
✍ تم تقسيم المجموعة السابعة إلي مجموعتين فرعيتين وهما :-

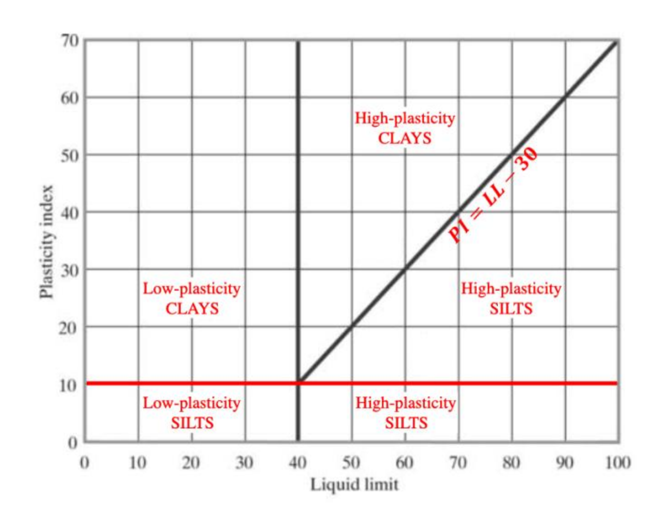
- a. A-7-5 : تربة طميية عالية اللدونة.
- b. A-7-6 : تربة طينية عالية اللدونة.

" الجدول التالي يوضح نظام آشتو لتصنيف التربة "

General Classification	Granular materials (35% or less passing No. 200 Sieve (0.075 mm))							Silt-clay Materials More than 35% passing No. 200 Sieve (0.075 mm)			
Group Classification	A—1		A—3	A—2				A—4	A—5	A—6	A—7
	A—1—a	A—1—b		A—2—4	A—2—5	A—2—6	A—2—7				A—7—5 A—7—6
(a) Sieve Analysis: Percent Passing											
(i) 2.00 mm (No. 10)	50 max										
(ii) 0.425 mm (No. 40)	30 max	50 max	51 min								
(iii) 0.075 mm (No. 200)	15 max	25 max	10 max	35 max	35 max	35 max	35 max	36 min	36 min	36 min	36 min
(b) Characteristics of fraction passing 0.425 mm (No. 40)											
(i) Liquid limit				40 max	41 min	40 max	41 min	40 max	41 min	40 max	41 min
(ii) Plasticity index	6 max		N.P.	10 max	10 max	11 min	11 min	10 max	10 max	11 min	11 min*
(c) Usual types of significant Constituent materials	Stone Fragments Gravel and sand		Fine Sand	Silty or Clayey Gravel Sand				Silty Soils		Clayey Soils	
(d) General rating as subgrade.	Excellent to Good							Fair to Poor			

كما يعتمد نظام آشتو علي نسبة المار من مناخل 10 و 40 و 200 بالإضافة إلي حالة لدونة التربة ، والشكل التالي مبني علي حالة اللدونة ويمكن إستخدامه في التصنيف للمجموعات من A-4 إلي A-7 وكذلك المجموعات الفرعية من المجموعة الرئيسية A-2.





معامل المجموعة ***Group Index***

يرتبط معامل المجموعة (GI) بنظام آشتو لتصنيف التربة ، وهو رقم يكتب بين قوسين بعد إسم المجموعة ، ويعتمد هذا المعامل علي نسبة المار من منخل رقم 200 وحد السيولة ومؤشر اللدونة ، ويستنتج معامل المجموعة من المعادلة التالية :-

$$GI = (F - 35)[0.2 + 0.005 (LL - 40)] + 0.01 (F - 15) (PI - 10)$$

✍ F : نسبة المار من منخل رقم 200.

✍ LL : حد السيولة.

✍ PI : مؤشر اللدونة.

لاحظ :: عندما تكون قيمة معامل المجموعة سالبة تأخذ صفراً ، أما إذا كانت قيمة المعامل رقماً أكبر من الصفر فتقرب إلي أقرب رقم صحيح ، وبصفة عامة فإن التربة التي لها معامل مجموعة كبير تكون التربة غير مرغوبة وخاصة في تشييد الطرق.

مسألة مهمة[5] :: صنف التربة بإستخدام طريقة آشتو وأوجد معامل المجموعة لها ، إذا علمت أن نسبة المار من التربة علي منخل رقم 200 هي 45 % وكلاً من حدي السيولة واللدونة هما 35 % و 20 % علي التوالي.

حل المسألة

∵ نسبة المار من منخل 200 أكثر من 35 % ◄ إذن التربة تكون أحدي المجموعات A-7 أو A-6 أو A-5 أو A-4

∵ حد السيولة 35 % ◄ إذن التربة أما أن تكون A-4 أو A-6

✍ بإستخدم نسب حد السيولة (LL) واللدونة (PL) يمكن إيجاد مؤشر اللدونة (PI) بإستخدام المعادلة التالية :-

$$\because PI = LL - PL$$

$$\therefore PI = 35 - 20$$

$$\therefore PI = 15\ \%$$

∴ بإستخدام مخطط اللدونة فإن تصنيف التربة هو A-6

✍ أما معامل المجموعة فيتم تحديده بإستخدام المعادلة التالية :-

$$\because GI = (F - 35)[0.2 + 0.005(LL - 40)] + 0.01(F - 15)(PI - 10)$$

$$\therefore GI = (45 - 35)[0.2 + 0.005(35 - 40)] + 0.01(45 - 15)(15 - 10) \simeq 4$$

∴ تصنيف التربة هو *A-6 (4)*

جسات التربة

الجسات BOREHOLES

الجسة عبارة عن ثقب رأسي ينفذ في التربة المراد تنفيذ المنشأ عليها بغرض الحصول علي عينات لكل متر رأسي من التربة حتي عمق معين ثم يتم دراسة هذه العينات معملياً لإستكشاف طبقات التربة وخواصها (الطبيعية والميكانيكية والكيميائية) وسمك كل طبقة ومنسوب المياه الجوفية ومنها يتم إصدار التوصيات الخاصة بالتنفيذ التي يقوم بكتابتها أستشاري التربة.

أهمية عمل الجسات

1. تجاهل عمل تقرير الجسات وتنفيذ المنشأ علي تربة مجهولة الخصائص خطأ كارثي حيث أنه قد يتضح أن التربة إنتفاشية وبالتالي قد يتعرض المنشأ لهبوط غير منتظم ثم الإنهيار وفقدان الأرواح ، لذلك يجب فحص تربة البناء جيداً وتحديد خواصها المختلفة فى الموقع بناءً علي نتائج التجارب الحقلية والمعملية وتحديد مدي صلاحيتها للتأسيس.
2. تحديد منسوب التأسيس[6] المناسب.
3. تحديد إجهاد التأسيس[7] الصافي (كجم حمل / سم^2) ، وكذلك تحديد الهبوط المتوقع للتربة.
4. تحديد منسوب المياه الجوفية ***Ground Water Table*** لأن وجود المياه الجوفية يقلل من قدرة تحمل التربة.
5. إعطاء التوصيات اللازمة للمباني حسب طبيعة الآرض بها والإحتياطات الواجب مراعاتها أثناء تنفيذ المشروع.
6. تحديد نوع الأساسات المناسبة للإستخدام (سطحية[8] أم عميقة[9]) ، وكذلك تحديد أنواع المواد المستخدمة في الأساسات كالأسمنت والحديد حسب نسبة الأملاح أو الكبريتات ومدي تأثيرها علي الخرسانة.

وللأسف الشديد رغم أن تكلفة الجسات ضئيلة جداً حيث تعادل 0.1 % من تكلفة المنشأ الكلية إلا أنه يغفل عنها المهندسون ولا يـهتمون بتنفيذها ، وكذلك معظم مكاتب الجسات تعتمد علي الأرشيف عندها ولا تقوم بعمل تحاليل للعينات وتعتمد علي نسخ التقرير لمبني مجاور أو في نفس المنطقة ، ويجب عليك عدم الإنتباه لكلام المقاول والإهتمام بعمل الجسات لأن المقاول كل هدفه الربح وأنت المسئول الأول والأخير ي هندسة.

" صورة توضح ميل أحد العمارات في الإسكندرية بسبب تجاهل عمل الجسات "



[6] منسوب التأسيس ***Foundation Level*** عبارة عن منسوب تحت سطح الآرض تكون التربة فيه صلبة وصالحة للبناء.
[7] إجهاد التأسيس ***Bearing Capacity*** عبارة عن أقصي إجهاد رأسي يمكن أن تتحمله التربة.
[8] الاساسات السطحية ***Shallow Foundation*** عبارة عن قواعد أو لبشة وبلجأ إليها لما يكون منسوب التاسيس قريب من سطح الآرض لحد حوالي 5 متر.
[9] الاساسات العميقة ***Deep Foundation*** عبارة عن خوازيق وبلجأ إليها لما يكون منسوب التاسيس علي بُعد كبير من سطح الآرض (إرتفاع الحفر كبير).

التربة المسببة للمشاكل وطرق التأسيس عليها

1. التربة الإنتفاشية ⇦ وهي التربة القابلة للإنتفاخ وهي عبارة عن تربة متماسكة في حالتها الجافة ألا أنها تفقد هذه الخاصية وتتعرض للإنتفاخ بزيادة نسبة الرطوبة بها ومن أمثلتها (الحجر الرملي ، الحجر الطيني ، الحجر الطمي ، الطفلة).

والتأسيس السليم علي هذه التربة يتم بإحدي الطرق التالية :-

- أستبدال التربة تحت الاساسات السطحية بتربة رملية لعمق معين (عملية أحلال).
- أستخدام خوازيق ترتكز في تربة غير إنتفاشية.
- معالجة التربة كيميائياً بإستعمال الأسمنت والجير عن طريق حقن التربة.

2. التربة الإنهيارية ⇦ وهي التربة القابلة للإنهيار وهي موجودة بالبيئة الصحراوية ومن أمثلتها (التربة الرملية المتماسكة ، الكثبان الرملية السائبة) حيث تحتوي هذه التربة علي مواد لآحمة من أكاسيد الحديد وكربونات الكالسيوم بين جزيئاتها مما يعطيها صلابة في حالتها الجافة بينما تتعرض للإنهيار المباشر بمجرد أضافة الماء إليـها.

والتأسيس السليم علي هذه التربة يتم بإحدي الطرق التالية :-

- أستبدال التربة تحت الاساسات السطحية بتربة أحلال مختلفة لعمق معين.
- أستخدام اللبشة في التأسيس لتقليل الإجهادات ومقاومة فرق الجهود.

3. التربة الطينية اللينة ⇦ وهي التي تنخفض فيها مقاومة القص مع قابليتها العالية للإنضغاط مما يسبب هبوط كبيراً للمنشأت ، وتتواجد هذه التربة عند مصبات نهر النيل وهي تحتوي علي مواد عضوية ليفية أو متحللة.

والتأسيس السليم علي هذه التربة يتم بإحدي الطرق التالية :-

- أستخدام اللبشة في التأسيس مع عمل بدروم للمبني لتقليل الجهد الصافي.
- أستخدام الخوازيق في التأسيس.
- التثبيت بإستخدام الجير.

4. الرمال المتبقية ⇦ عبارة عن نواتج تكسير الصخور بعوامل التعرية وتحتوي علي كهوف وفجوات ، ويجب الإبتعاد عن التأسيس فوق الكهوف والفجوات.

والتأسيس السليم علي هذه التربة يتم بإحدي الطرق التالية :-

- أستخدام اللبشة في التأسيس.
- أستخدام الحقن للتربة لتعديل خصائصها.

أحلال التربة : عبارة عن أستبدال التربة الموجودة بتربة أخري لها مواصفات خاصة ، ويتم اللجوء إلي تربة الأحلال عندما تكون التربة الأصلية غير صالحة لتأسيس المنشأ المراد إقامته عليها ، ومن فوائد إستخدام تربة الأحلال رفع منسوب التأسيس وزيادة قدرة تحمل التربة والبعد عن منطقة تأثير المياه الجوفية أو حماية الاساسات من تأثيرها ، وعادة ما تنفذ طبقات الأحلال بتربة أقوي من التربة الأصلية أو علي الأقل مساوية لها ، ويجب ألا يزيد سمك طبقة الأحلال عن 30 سم بعد الدمك الميكانيكي والرش بالمياه للوصول إلي كثافة جافة لا تقل عن 95 % طبقاً لتجربة بروكتور.

تحديد منسوب المياه الجوفية

منسوب المياه الجوفية مهم جداً بالنسبالي ولآبد من مقارنته بمنسوب التأسيس عشان أقدر أحدد التصرف المناسب لحل مشكلة المياه الجوفية (إن وجدت) ، ومن خلال مقارنة منسوب المياه الجوفية بمنسوب التأسيس هنطلع بإحتمال من ثلاث إحتمالات وكل إحتمال منهم بيحددلي إذا كان في مشكلة ولا لا ، ولو لقيت مشكلة أقدر أتصرف معها أزاي.

الإحتمال الأول ◄ إذا كان منسوب التأسيس هو نفسه منسوب المياه الجوفية ... وقتها مش هيكون عندي مشكلة لأني أقدر أصب القاعدة العادية بسمك معين وفوقها القاعدة المسلحة وبالتالي المياه مش هتوصل للقاعدة المسلحة.

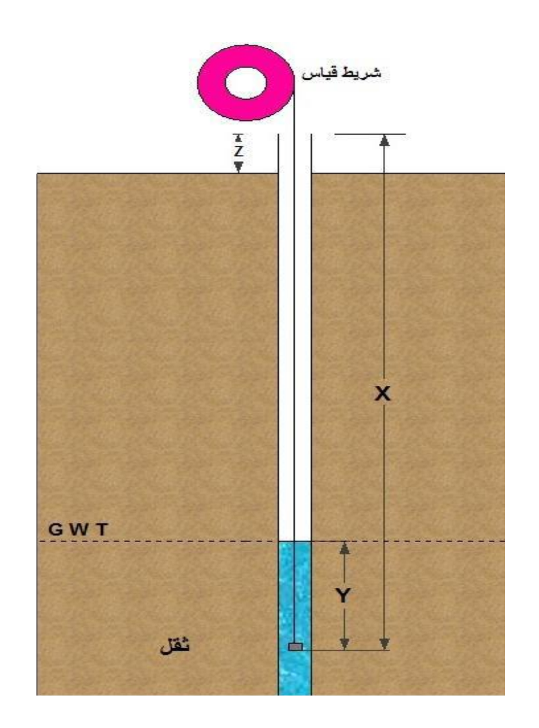
الإحتمال الثاني ◄ إذا كان منسوب التأسيس فوق منسوب المياه الجوفية ... وقتها مش هيكون عندي مشكلة لأني هقدر أحفر وأعمل الأساسات بتاعتي ومش هتظهر المياه ولا هتيجي ناحية الأساسات بتاعتي.

الإحتمال الثالث ◄ إذا كان منسوب التأسيس تحت منسوب المياه الجوفية بمسافة أقل من أو تساوي 30 سم ... وقتها مش هيكون عندي مشكلة كبيرة ومش هحتاج أعمل نزح للمياه ، وهيكون الحل بكل بساطة في صب الـ 30 سم خرسانة عادية وأعتبرها كأنها فرشة نضافة (ومياه الخلط بتاعتها هتبقي هي المياه الجوفية) مع ملاحظة إني هعّلي الخرسانة 10 سم زيادة (بمعني إني هصب خرسانة عادية بسمك 40 سم) وده عشان ميبقاش وش الخرسانة العادية (اللي قاعد عليها حديد القاعدة المسلحة) علي وش المياه بالظبط وذلك للحفاظ علي حديد القواعد المسلحة من الصدأ.

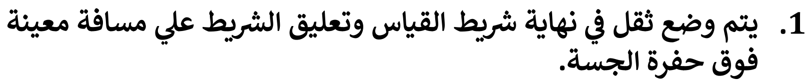
" ولو لقيت منسوب التأسيس تحت منسوب المياه الجوفية بمسافة أكبر من 30 سم هحتاج أعمل نزح[10] للمياه الموجودة " .

طرق قياس منسوب المياه الجوفية

أولاً : بإستخدام شريط القياس



يتم قياس منسوب المياه الجوفية بإستخدام شريط القياس ، ويتم القياس تبعاً للخطوات التالية :-



1. **يتم وضع ثقل في نهاية شريط القياس وتعليق الشريط علي مسافة معينة فوق حفرة الجسة.**
2. **يتم إنزال الشريط في حفرة الجسة حتي يتم غمره حتي عمق معين.**
3. **يتم رفع الشريط وقياس طوله كاملاً وقياس طول الجزء المبتل.**
4. **يتم حساب منسوب المياه الجوفية عن طريق المعادلة التالية :-**

$$GWT = X - Y - Z$$

- ✓ **X : طول الشريط كاملاً.**
- ✓ **Y : طول الجزء المبتل من الشريط.**
- ✓ **Z : إرتفاع الشريط عن حفرة الجسة.**

ثانياً : بواسطة مقياس ضغط السوائل (بيـــزوميتر PIEZOMETER)

يتكون البيزوميتر من حجر نفاذ أو أنبوبة مثقبة تعمل كمرشّح يسمح بدخول المياه دون التربة ومعلق بالحجر النفاذ أو الأنبوبة المثقبة ماسورة بلاستيكة رفيعة ، حيث يتم ملاحظة منسوب المياه الجوفية علي فترات زمنية لتتابع أي تغيرات في المنسوب والتأكد من المنسوب النهائي.

---

[10] نزح المياه ***Dewatering*** : عبارة عن عملية شفط أو سحب المياه من الآرض التي وُجد بها منسوب التأسيس تحت منسوب المياه.

تخطيط عدد الجسات في الموقع

يخطط لأماكن الجسات بحيث يمكن تحديد القطاعات الجيولوجية للموقع بطريقة دقيقة وملائمة للتصميم ، كما أنه في الحالات التي تتطلب دراسات تفصيلية لهبوط المنشآت أو إتزان الميول أو دراسات رشح المياه فيتم عمل كافي من الجسات للحصول علي عينات كافية مقلقلة وغير مقلقلة من تكوينات التربة في الطبقات المختلفة ، ويتوقف تحديد عدد الجسات وتوزيعها والمسافات بينهما عموماً علي تكوينات التربة المتوقعة ونوع المنشآت والغرض من الدراسة ، وفيما يلي تحديد عدد الجسات طبقاً للكود المصري لآعمال التشييد والبناء مع مراعاة أخذ الملاحظات الآتية في الإعتبار :-

أولاً : مواقع البناء المعتادة ◄ في حالة المباني التي يقل مسطحها عن (100 متر مربع) كغرفة حارس وغرف المولدات الكهربائية فيكتفي بعمل جسة واحدة مع الأسترشاد بالجسات المجاورة إن أمكن ذلك وإلا فيتم عمل جستين علي الأقل ،، وفي حالة المنشآت ذات المسطحات الكبيرة يتحدد عدد الجسات بواقع جسة لكل من (300 : 500 متر مربع) وذلك حسب المعلومات المتوفرة عن تكوينات التربة في المنطقة ،، وفي حالة المنشآت الموزعة علي مساحات كبيرة مثل القري السياحية أو ما شابه فيتوقف عدد الجسات علي المسافة بين المنشآت المختلفة وحجم هذه المنشآت مع الأسترشاد بما تقدم.

ثانياً : المواقع العمرانية ◄ تخطط الجسات الأسترشادية علي شبكة من 200 × 200 متر إلي 400 × 400 متر ،، وتخطط الجسات المبدئية بالمواقع العمرانية في الأراضي الغير مستوية بحيث تبعد عن بعضها مسافات بين (60 : 150 متر) ويجب أن تكون المسافة المحصورة بين أي أربعة جسات حوالي 10 % من المساحة الكلية ، وفي حالة الأبحاث التفصيلية يزداد عدد الجسات للحصول علي قطاعات جيولوجية دقيقة.

ثالثاً : السدود وخزانات المياه والترع والجسور والحوائط الساندة ◄ يتم إختيار الجسات بحيث تكون المسافة بينهما في حدود من (50 : 200 متر) ، وقد تقل المسافة بين كل جسة والأخري طبقاً لأهمية المشروع وذلك لمعرفة كل التفاصيل ، وعلي كل حال يتوقف عدد الجسات علي طول المنشأ ونوعية طبقات التربة المتوقعة.

رابعاً : خطوط المياه والصرف الصحي ◄ يتم عمل جسة كل 250 متر في الأراضي الزراعية ، وجسة كل 150 متر أو أقل في الأراضي الصحراوية ، وجسة واحدة في كل أماكن المحابس وغرف التفتيش والمطابق.

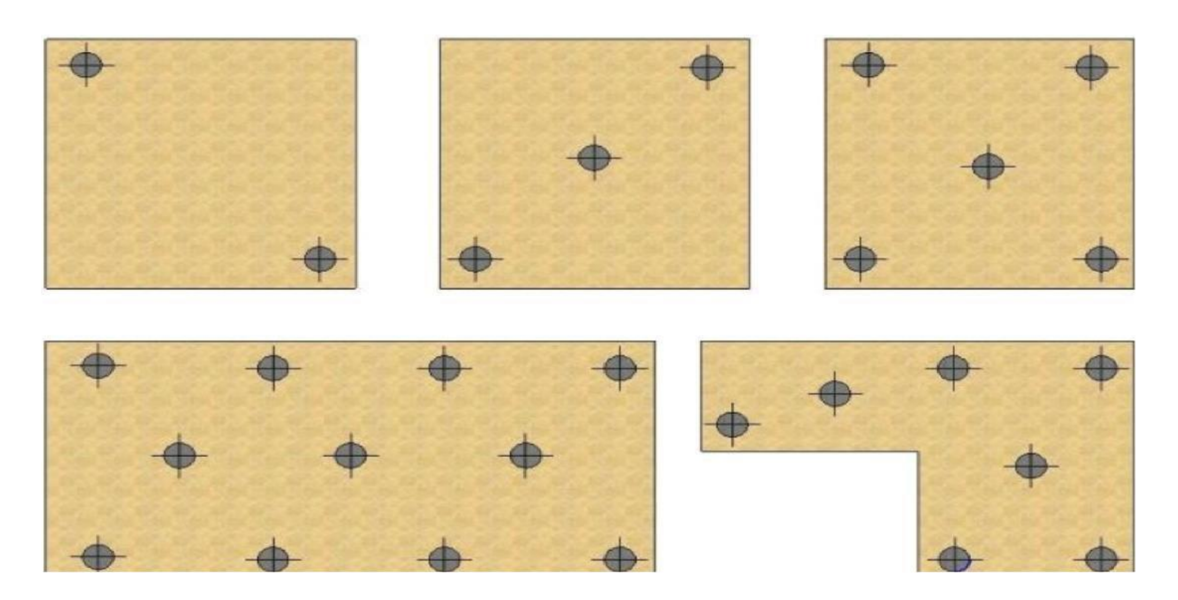
خامساً : أكتاف الكباري ◄ يتم إختيار الجسات بحيث تكون المسافة بينهما في حدود من (10 : 20 متر) طبقاً لتجانس طبقات التربة وبعدد لا يقل عن جستين بموقع كل كتف.

سادساً : خطوط كهرباء الضغط العالي وأبراج الإتصالات ◄ يتم عمل جسة أو أثنين بموقع كل برج ويعتمد ذلك علي مساحة الأساس المتوقع للبرج ، وفي حالة الأبراج ذات الشد فتعمل جسة في موقع الشداد إذا لزم الآمر.

تخطيط أماكن الجسات في الموقع

يجب أن تؤخذ الجسات في أماكن البناء وأعمال الإنشاءات وليس بعيداً عنها كالحدائق وأماكن الأشجار والمناور ، فلو كانت مساحة قطعة الآرض للمالك مثلاً 500 متر وسيتم البناء علي 300 متر ، فسوف يتم إعتبار الـ 300 متر هي مساحة الجسات ، ويراعي عمل الجسات فى مكان أقصى حمل متوقع للمنشأ المراد تنفيذه ، ولآبد من وجود لوحة توضح أماكن الجسات والذي يقوم بذلك هو مهندس المساحة حيث يقوم بتحديد إحداثيات النقاط بإستخدام جهاز المحطة المتكاملة ***Total Station*** ، ويتم دق سيخ حديد في مركز كل جسة ثم يأتي بعد ذلك عملية تنفيذ الجسة ، وعند الإنتهاء من عملية الحفر وأخذ العينات يجب إغلاق الحفر بالتربة الجافة ودمكها جيداً أو أن تصب فيها الخرسانة العادية حتي لا تتسبب هذه الحُفر في إنضغاط التربة أو تكون ممر للمياه الجوفية.

" مسقط أفقي لقطعة أرض بها توقيع أماكن الجسات "



عمق الجسات

يتوقف عمق الجسات علي حجم ونوع المنشآت المطلوب دراستها ، كما إن أعماق الجسات تتوقف بدرجة كبيرة علي خواص وتتابع الطبقات الموجودة بكل موقع ، ويجب أن تمتد الجسة أسفل التربة وتخترق جميع طبقات التربة حتي الوصول إلي تربة التأسيس الصالحة للبناء والتأكد من إستمراريتها.

وفيما يلي تحديد عمق الجسة طبقاً للكود المصري لآعمال التشييد والبناء مع مراعاة أخذ الملاحظات الآتية في الإعتبار :-

أولاً : مواقع البناء المعتادة ◄ في جميع الآحوال لا تقل أعماق الجسات عن 10 متر ، وتزداد أعماق الجسات طبقاً لطبيعة التربة بالموقع وطبيعة المنشأ وأحماله ، وفى حالة الأساسات العميقة (مثل الخوازيق) يجب أن يصل عمق الجسات إلي 5 متر علي الأقل عن النهاية المتوقعة لإرتكاز الخوازيق.

ثانياً : المواقع العمرانية ◄ يتم عمل الجسات في المواقع العمرانية بعمق لا يقل عن 10 متر كما يتم عمل حفر إستكشافية مفتوحة بأعماق لا تقل عن 5 متر للحصول علي عينات فى حالتها الطبيعية.

ثالثاً : السدود وخزانات المياه والترع والجسور والحوائط الساندة ◄ يجب أن لا تقل أعماق الجسات عن مرتين من الإرتفاع الحر للحائط مقاساً من منسوب الآرض أمام الحائط ، وفي حالة الجسور لا تقل عمق الجسة عن مرة ونصف العرض الكامل لقطاع الجسر خلال الطبقات المتجانسة مع زيادة هذا العمق في حالة ظهور طبقات ضعيفة.

رابعاً : خطوط المياه والصرف الصحي ◄ لا يقل عمق الجسة عن 5 متر بحيث يكون عمق الجسة أسفل الراسم السفلي للماسورة بقدر 6 مرات قطر الماسورة أو 3 متر إيهما أكبر ، وفي حالة الأعمال الصناعية على الخط لا يقل عمق الجسة عن 10 متر.

خامساً : أكتاف الكباري ◄ لا يقل عمق الجسات عن 10 متر وتزداد أعماق الجسات طبقاً لطبيعة التربة.

سادساً : خطوط كهرباء الضغط العالي وأبراج الإتصالات ◄ لا يقل عمق الجسة عن 15 متر ، وفي حالة أبراج الشد والآبراج ذات أرتفاع أكبر من 100 متر يكون عمق الجسة 10 متر علي الاقل.

خطوات تجهيز الموقع لأخذ الجسات

1. في البداية لآبد من تحديد الهدف من دراسة وعمل تقارير التربة ، ويتم هذا بناءً علي نوع المشروع الهندسي وعناصره المتوقعة بكافة أبعادها ووظائفها وطبيعتها وهذا يكون بالتنسيق مع طلبات المالك (و/ أو) المهندس المعماري (مثل عدد الأدوار التي يقوم عليها المشروع) ، وبناءً أيضاً علي المعلومات الأولية لطبيعة موقع المشروع (هل المشروع قريب من البحر أو في منطقة صحراوية) وبالتالي ومن خلال ذلك يتم تحديد الهدف من دراسة وعمل تقارير التربة.
2. التنسيق مع مكتب الإستشاري الذي سيقوم بفحص عينات التربة ، ويجب أن يكون الفحص والتحري في مختبر[11] تربة ذو سمعة حسنة بناءً علي تزكية من قبل خبير له نظرة تقييم علمية في هذا المجال.
3. يتم توقيع عقد إتفاق مع مختبر التربة الذي طلبت منه إجراء دراسة التربة.
4. عمل زيارة ميدانية للموقع المراد إنشائه وفحصه لتحديد مدي ملائمته لماكينات الجسات وإزالة أي عوائق وتحديد أي ملاحظات أخري مثل وجود بيارات في أرض الموقع.
5. تجهيز الموقع بمصدر للمياه أو توفير خزانات مياه حتي يتم إستخدامها أثناء الحفر.
6. تجهيز لوحة الموقع العام التي تحتوي علي أماكن الجسات لتجنب عمل جسات في مكان فارغ.

تنفيذ الجسات

أولاً : الطريقة الميكانيكية ◄ تُستخدم الطريقة الميكانيكية في حالة التربة الصخرية الصلبة وكذلك أيضاً في حالة الأعماق الكبيرة (التي تصل تقريباً لـ 30 متر) ، كما أن معدل الجسات بهذه الطريقة سريـع ، ويجب عليك قبل إحضار الماكينة التأكد من أن أرضية الموقع تتحمل وزن الماكينة وإلا سنضع تربة إحلال.

خطوات تنفيذ الجسات بالماكينات الميكـانيكية

1. إيقاف ماكينة الحفر فى مكان الجسة طبقاً لمساحة الآرض ونوع التربة والمنشأ.

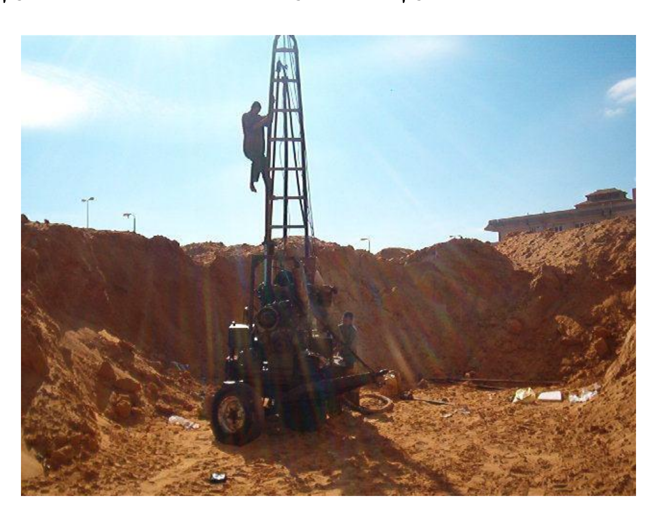


[11] يتم مراعاة مستوي المختبر مع حجم المشروع فكلما زاد حجم المشروع يتم اللجوء لمختبرات باهظة لضمان الدقة وجودة التقارير المقدمه.

2. تثبيت ماكينة الحفر علي الآرض لعدم الإهتزاز الناتج عن حركة المواتير أثناء عملية الحفر.



3. رفع برج ماكينة الحفر وتجهيزه للعمل حيث يقوم بحمل مواسير الحفر وكذلك خرطوم إمداد المواسير بالبنتونايت.



4. حفر حفرتين متصلتين مع حفرة أخذ الجسات لخلط وترسيب وضخ البنتونايت[12] أثناء عملية الحفر.

- حفرة بعيدة لخلط البنتونايت مع الماء حتي نحصل علي خليط متجانس من السائل ، ويتم وضع خرطوم الماكينة في الحفرة حيث أنه يقوم بسحب البنتونايت من الحفرة وضخه من خلال الماكينة إلي داخل الجسة.
- حفرة متوسطة بين الحفرتين لترسيب عينات الغسيل.



[12] تستخدام مادة البنتونايت أثناء الحفر لتبريد الآدوات المخترقة للتربة وتسهيل عملية أختراق التربة حيث تعمل علي تقليل الإحتكاك بين الماكينة والتربة ، وتستخدم أيضاً لسند جوانب الحفر لحفرة أخذ الجسات وسد أي شقوق وتغليف الحفرة من الداخل.

" إذابة البنتونايت في الماء ووضع خرطوم الماكينة فى الحفرة لسحب البنتونايت "



" الصورة التالية توضح شكل شكائر البنتونايت "



" بودرة ناعمة من شكائر البنتونايت ولونها أصفر غامق "



5. ربط سكينة القطع فى ماسورة الكور والتي تستخدم في عملية الحفر وأخذ العينات التي تدخل الكور.



" الصورة التالية توضح شكل الكور "



" الصورة التالية توضح شكل سكينة القطع "



6. تركيب الكور بمواسير الآطالة للوصول حتي العمق المطلوب.



" مواسير الأطالة المستخدمة في أعمال الجسات "





7. تشغيل ماكينة الحفر وربط ماسورة الكور للنزول حتي العمق المطلوب حتي تمتلي الماسورة بالعينات ثم رفع الماسورة وفكها ثم يتم تفريغ العينات حتي يتم حفظها بالطريقة المناسبة.





ثانياً : الطريقة اليدوية ◄ تُستخدم الطريقة اليدوية في حالة التربة اللدنة وكذلك أيضاً في حالة الأعماق الصغيرة ، ومن أهم عيوب هذه الطريقة إنها صعبة ومكلفة وتحتاج إلي عمالة كثيرة وتاخذ وقت كبير بالمقارنة بالطريقة الميكانيكية.

والماكينة اليدوية عبارة عن مقص مكون ثلاث مواسير متصلين من أعلي ومعلق أعلاهم خطاف مربوط به بكره يمر عليها حبل سميك ، وهذه البكره متصلة بونش يدوي من طرف والطرف الآخر بالمواسير المستخدمة في عملية الحفر (البريمة أو البلف أو الفتيل ، حيث أن **البريمة** تستخدم في حالة التربة المتماسكة والردم ، **والبلف** يستخدم في حالة التربة المفككة ، **والفتيل** يستخدم في حالة التربة الطينية) وبفرض أن الماسورة المستخدمة في عملية الحفر هي البلف ، فإنه يتم تثقيل وزن البلف بضغط إحد العمال عليه ويقوم العمال بلّف البلف بماسورة أفقية حتي ينغرز كاملاً في الآرض ثم يتم سحبه وتفريـغ العينات.



" الصورة التالية توضح شكل البريمة "



" الصورة التالية توضح شكل البلف "



" الصورة التالية توضح شكل الفتيل "

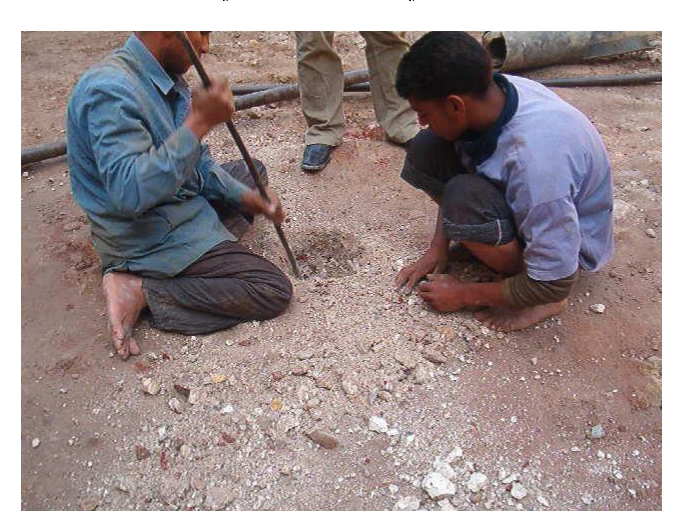


خطوات تنفيذ الجسات بالماكينات اليدوية

1. يتم إيقاف ماكينة الحفر علي مكان الجسة.



2. عمل حفرة صغيرة لنزول الماسورة (المستخدمة في عملية الحفر) في الجسة.



3. ربط البريمة (أحد المواسير المستخدمة في عملية الحفر) مع الماسورة.

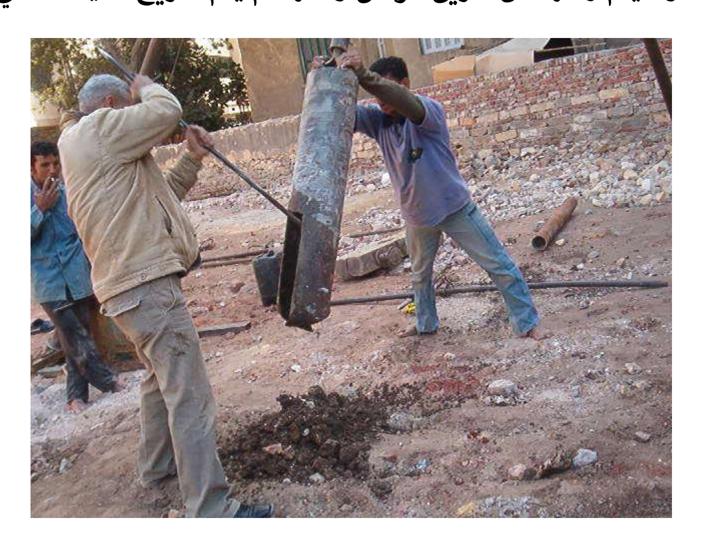




4. تركيب الماسورة بـ ماكينة الحفر وبدء العمل حيث يتم الضغط والتحميل علي الماسورة مع الدوران.



5. عند نزول البريمة للمتر الأول يتم رفعها عن طريق الونش وفكها ثم يتم تفريـغ العينات حتي يتم حفظها بالطريقة المناسبة.



6. عند بداية ظهور الرمل نقوم بإنزال المواسير (قطرها 6 بوصة) للعمل بداخلها لسند جوانب الحفر.



" الصورة التالية توضح مواسير قطرها 6 بوصة "





" الزرجينة التي تتحكم في إمساك المواسير 6 بوصة "



7. نقوم بربط وصلات مواسير السند.



8. إستبدال البلف بدلاً من البريمة.



9. أخذ العينات بالبلف (ضرب البلف بقوة داخل المواسير 6 بوصة) بواسطة سحب حبل الونش ثم السقوط الحر ، وذلك يعمل علي إدخال ناتج الحفر في البلف.



عينات التربة المستخرجة أثناء تنفيذ الجسات

عينات الجسات هى العينات التي يتم إستخراجها من التربة بواسطة ماكينات الجسات لكل متر عمق رأسي أو متر ونص ، حيث أن بعد الإنتهاء من إستخراج عينات المتر الأول يتم وضعها في أكياس وتغليفها ويكتب عليها عينات المتر الأول وهكذا ، ولخطورة هذا الموضوع لآبد من وجود المهندس أثناء عمل الجسات للتأكد من إنها تمت بالطريقة الصحيحة ، وعند إستخراج العينة يجب أن يكتب عليها أسم الموقع ورقم الجسة وعمق العينة ومكان العينة وتاريخ الإستخراج ، ويجب الحرص علي أن تحفظ العينات بعيداً عن حرارة الشمس والإهتزازات ، لذلك يجب أن تذهب إلي المعمل بسرعة ليتم تحليلها وتحديد خواص التربة ، ويجب عدم تعرض العينات لآي إجهاد ميكانيكي فى الموقع من العامل أو غيره ، ويتوقف عدد ونوع العينات اللازم إستخراجها من الموقع علي تتابع طبقات التربة الموجودة بالموقع ونوعها ، وتنقسم العينات المستخرجة أثناء تنفيذ الجسات إلي نوعين أساسيـين :-

أولاً : العينات المقلقلة (مفككة) ***Disturbed Samples***

العينات المفككة يجب أن تحتوي علي كافة عناصر التربة الموجودة فى الطبيعة ولا يلزم أن تحتفظ بقوام وتركيب التربة ، وهذه العينات تستخدم فى تجارب التحليل الحبيبى وتوصيف التربة وتعيين حد السيولة واللدونة ، كما تستخدم فى تعيين محتوي المواد العضوية بالتربة ، ويجب أن تُحفظ العينات المفككة بأن توضع فى أكياس بلاستيكية لحفظ محتواها المائي وحفظها من التغير.



" شكل العينات بعد تغليفها داخل الاكياس البلاستيكية "



ثانياً : العينات الغير مقلقلة (المتماسكة) *Undisturbed Samples*

العينات المتماسكة تستخدم لمعرفة الخواص الميكانيكية للتربة مثل إجراء إختبارات مقاومة الضغط والتضاغط والقص ، ويجب أن تحفظ العينات المتماسكة بواسطة تغليف العينة جيداً بالشمع المنصهر ، وفي حالة عدم توافر الشمع يتم وضعها في أكياس بلاستيكية لحمايتها من الضرر وحمايتها من فقدان المحتوى المائي.



ملاحظة موقعية:: يمكن معرفة مكونات التربة بشكل مبدئي في موقع العمل بواسطة أن نحضر كوب ماء ويوضع فيه كمية من التربة المراد إختبار نوعها ثم نقلب بالمعلقة ، وبعد الإنتهاء من التقليب نجد أن التربة الرملية تترسب خلال 30 ثانية ، والتربة الطميية تترسب خلال 15 ثانية ، بينما التربة الطينية تظل عالقة علي السطح.

أختبار الاختراق القياسي STANDARD PENETRATION TEST (SPT)

يعد هذا الإختبار من الإختبارات المهمة لتحديد مقاومة التربة الرملية أثناء تنفيذ الجسة ، وهو من أسهل الطرق وأفضلها لمعرفة قيمة زاوية الإحتكاك الداخلي وكثافة التربة الرملية ، ونقوم بإستخدام هذا الإختبار عندما تتغير التربة إلي تربة رملية أو حصوية مفككة (وعند إذن نقوم بفك سكينة القطع ونركب مكانها معلقة الدقات المستخدمة في أخذ العينات عند إجراء هذا الإختبار) حيث تخترق معلقة الدقات التربة الرملية بواسطة الدق عليها بمطرقة خاصة وزنها 63.5 كجم تسقط سقوط حر من إرتفاع مقداره 76 سم حتى يتم إختراق التربة لمسافة 30 سم عند عدة أعماق مختلفة ، وتسمي عدد الدقات اللازمة لإختراق هذه المسافة بمقاومة التربة للإختراق (N) ، ويتم وضع ثلاث علامات علي قضيب الإسترشاد فوق سطح الآرض عند بداية خط الحفر ، حيث يمثل البعد بين كل علامة والأخري 15 سم ، وتدق الملعقة فى الـ 15 سم الآولي ثم يؤخذ عدد الدقات لأختراق الـ 15 سم الثانية والثالثة ، ولا تؤخذ الآولي (أول 15 سم) ولا تحسب الدقات الزائدة عن 50 دقة ، ويتم إيقاف الإختبار في حالة الحصول علي 100 دقة أو 10 دقات متتالية بدون إختراق.

" الصورة التالية توضح معلقة الدقات "



" يتم عمل ثلاث علامات × 15 سم علي قضيب الإسترشاد "



" إخراج عينات الدقات من المعلقة "



الجدول التالي يبين توصيف التربة بإستخدام عدد الدقات (N) ⇦

وصف التربة	عدد الدقات (N) / 30 سم
مفككة جداً *Very Loose*	4 : 0
مفككة *Loose*	10 : 4
متوسطة *Medium*	30 : 10
كثيفة *Dense*	50 : 30
كثيفة جداً *Very Dense*	> 50

" الأختبارات الحقلية الأخري بالموقع أثناء عمل الجسات "

أولاً : مبين جودة الصخر ROCK QUALITY DESIGNATION (RQD)

عبارة عن مقياس جودة الصخر لمعرفة مدي إستمراريته في الطبيعية ومدي إنتشار الفواصل والتشققات به.

مبين جودة الصخر (%) = $\frac{\text{مجموع أطوال الأجزاء السليمة الذي يزيد طولها عن 10 سم}}{\text{طول مسافة إختراق ماسورة الأستخلاص}} \times 100$



تصنيف الصخور بناءً علي درجة إستمراريتها ⇦

RQD (%)	Rock Quality
< 25 %	Very Poor
25 : 50 %	Poor
51 : 75 %	Fair
76 : 90 %	Good
91 : 100 %	Very Good

ثانياً : نسبة الإستخلاص CORE RECOVERY (CR)

عبارة عن النسبة بين طول العينة المستخرجة بغض النظر عن طولها إلي طول مسافة إختراق ماسورة الإستخلاص.

نسبة الاستخلاص (%) = $\frac{\text{طول العينة المستخرجة بغض النظر عن طولها}}{\text{طول مسافة إختراق ماسورة الأستخلاص}} \times 100$

تم بفضل الله الإنتهاء من الجزء الثاني من كتاب

المختصر في علم الجيولوجيا

هذا... وإن أخطأتُ في بعض الجُزئيات فما زلتُ أتعلَّم ، والقصور من طبيعة البشر.

أعداد وتاليف

م. أحمد السيد عبد المجيد